

Bootstestung im Indoor Wasserschleppbecken

Vier Einer von verschiedenen Werften wurden kürzlich in einem Indoor Wasserschleppbecken (600m lang, 16m breit, 7m Tiefe, konstante Temperatur +16°C) am Krylov State Research Centre in Sankt-Petersburg, Russland (<http://krylov-center.ru/eng/>) getestet. Die Boote waren:

- Empacher (X10 A115, 2013, 85-100kg);
- Filippi (F14, 2011, 80-95kg);
- Wintech (Medalist, 2014, 75-85kg);
- Nowing (lokale Bootswerft, 2014, 75-85kg).

Der Zweck des Testes war es, den Drag Faktor DF eines jeden Bootes zu definieren. Das passierte mit zwei Methoden: rudern und schleppen, und dann sollte ihre Korrelation gefunden werden.



Rowing in the indoor tank

Methoden. Während der Rudermessung führte ein Ruderer von Nationalem Niveau (91kg Körpergewicht) vier Teststrecken zu je 200m mit ansteigender Schlagfrequenz in jedem Boot, die auch noch mit dem BioRow™ System ausgerüstet waren, durch. Gemessen wurde die durchschnittliche Bootsgeschwindigkeit V mittels Zeitnahme jeweils auf den letzten 150m einer jeden Teststrecke. Gemessen wurden die Griffkraft, Ruderwinkel und Bootsbeschleunigung bei 25Hz, dann wurden die Ruderleistung P und die Blatteffizienz Ebl (RBN 2007/12, 2012/06) abgeleitet. Die Vortriebsleistung $Pprop$ wurde berechnet:

$$Prop = P * Ebl \quad (1)$$

Der Ruder Drag Faktor wurde in zwei Wegen abgeleitet:

1. Der Brutto Ruder Drag Faktor DF_{R1} wurde definiert als das Verhältnis zur durchschnittlichen Geschwindigkeit V_{av} hoch 3 über den Schlagzyklus:

$$DF_{R1} = Prop / V_{av}^3 \quad (2)$$

2. Der Netto Ruder Drag Faktor DF_{R2} wurde definiert als das Verhältnis von der durchschnittlichen augenblicklichen Bootsgeschwindigkeit V_i hoch 3, abgeleitet von der Beschleunigung während des Schlagzyklus:

$$DF_{R2} = Prop / average(V_i^3) \quad (3)$$

Die Differenz zwischen beiden bedeutet, daß der Brutto Faktor den übermäßigen Energieverlust durch die Schwankungen der Bootsgeschwindigkeit während des Schlagzyklus mit einbezieht, und der Netto Faktor nicht.



Towing measurements

Die Schleppmessungen waren komplett unabhängig vom Rudern, und alle Sensoren und Datenverarbeitungssysteme wurden vom Forschungszentrum bereitgestellt. Ein Boot wurde unter eine Schleppbrücke montiert (56t Masse, 4*200kW Antriebsmotoren), die auf Schienen über dem Becken fuhr. Jedes Boot wurde mit zwei verschiedenen Zuladungen 80kg und 90kg, und bei zwei verschiedenen Geschwindigkeiten 4 und 5m/s getestet, mit drei Läufen zu je 500m bei jeder Zuladungs-Geschwindigkeits-Kombination – das machte 12 Läufe für jedes der vier Boote. Die Widerstandskraft (Drag) R_T , Auftauchen des Bugs (Surfacing) und die Lage (Trim) wurden mit 10Hz gemessen und dann über eine Zeitspanne von 20-30s bei konstanter Geschwindigkeit V gemittelt.

Der Schleppwiderstandsfaktor (Towing drag factor) DF_T wurde für jeden Lauf abgeleitet:

$$DF_T = R_T / V^2 \quad (4)$$

Ergebnisse. Bei den Rudermessungen fand man heraus, daß die größte durchschnittliche Ruderleistung im Filippi Boot erbracht wurde (Tabelle 6 im Anhang 1 weiter unten), Ebl und Vortriebsleistung (Tabellen 7-8) waren im Empacher höher, aber sowohl Brutto- (Tabelle 9) als auch Netto Drag Faktoren waren im WinTech Boot die niedrigsten.

DF_{R2}	Wintech	Empacher	Filippi	Nowing	Durchschnitt
1	3.079	3.084	3.139	3.144	3.111
2	3.000	2.954	3.169	3.262	3.096
3	3.007	3.041	3.227	3.016	3.073
4	2.936	3.007	3.145	3.172	3.065
Durchschnitt	3.006	3.021	3.170	3.149	3.086

Bei den Schleppversuchen war die Widerstandskraft (Drag Resistance Force) im WinTech Boot am niedrigsten (Durchschnitt von drei Läufen, siehe Anhang 2):

Tabelle 2. Drag Widerstandskraft R_T beim Schleppen (N)

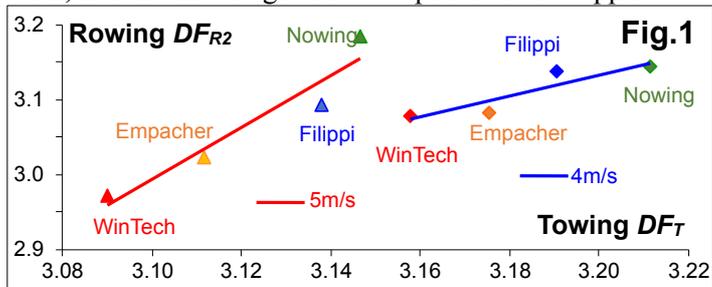
Geschwindigkeit-Zuladung	WinTech	Empacher	Filippi	Nowing
4m/c-80kg	48.194	48.622	48.830	48.797
4m/s-90kg	50.779	50.944	51.218	51.579
5m/s-80kg	73.814	74.614	74.351	74.603
5m/s-90kg	77.604	77.998	78.798	78.733
Durchschnitt	62.598	63.045	63.299	63.428

Der niedrigste Schlepp Brems (Drag) Faktor DF_T wurde auch beim WinTech Boot festgestellt:

DF_T	WinTech	Empacher	Filippi	Nowing
4m/c-80kg	2.990	3.025	3.038	3.037
5m/s-80kg	2.929	2.975	2.972	2.974
4m/s-90kg	3.158	3.176	3.191	3.211
5m/s-90kg	3.090	3.112	3.146	3.138
Durchschnitt	3.042	3.072	3.087	3.090

Beim Vergleich der Drag Faktoren fand man heraus, daß sie beim Schleppen bei höheren Geschwindigkeiten von 5m/s niedriger waren (im Durchschnitt um 5,3%). Die

Ruder Drag Faktoren verringerten sich auch signifikant bei höheren Geschwindigkeiten beim WinTech und Nowing Boot, und etwas weniger beim Empacher und Filippi.



Gute Korrelationen wurden zwischen den DFs von Rudern und Schleppen gefunden (Fig.1, $r=0.91$ bei 4m/s und $r=0.95$ at 5m/s), was bedeutet, daß **die Messungen zuverlässig waren**. Der durchschnittliche Netto Ruder DF_{R2} war 1.6% niedriger als der Schlepp DF_T bei ähnlicher Zuladung von 90kg, aber der Grund ist noch nicht klar.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Ruder- und Schleppmessungen: **Das WinTech Boot hat den niedrigsten durchschnittlichen Drag Faktor**. Das Empacher Boot hatte einen um 0.78% höheren DF , Nowing – 2.35% höher und Filippi – 2.95% höher. Bei einer Vortriebsleistung von 400W (Ruderleistung 508W und einer Zeit von etwa 6:35 über ein 2k Rennen), ergeben die oben angesprochenen Differenzen beim Drag Faktor **dem WinTech Boot einen Vorteil von 1.02s über Empacher, 3.06s über Nowing und 3.84s über den getesteten Filippi**.

©2015 Dr. Valery Kleshnev www.biorow.com

Anhang 1 zum Rowing Biomechanics Newsletter 2015/04

Detaillierte Daten der Rudermessungen

Tabelle 4. Schlagfrequenz (1/min)

Messung N	Win-tech	Empacher	Filippi	No-wing	Durchschnitt
1	22.0	22.5	22.9	22.8	22.6
2	26.4	26.9	26.6	25.7	26.4
3	32.1	33.1	31.8	31.9	32.2
4	44.1	44.1	39.7	42.5	42.6
Durchschnitt t	31.2	31.6	30.3	30.7	30.9

Tabelle 5. Bootsgeschwindigkeit (m/s)

Messung N	Win-tech	Empacher	Filippi	No-wing	Durchschnitt
1	4.03	4.01	4.07	4.06	4.04
2	4.34	4.38	4.40	4.17	4.32
3	4.68	4.70	4.69	4.74	4.70
4	5.55	5.53	5.20	5.20	5.37
Durchschnitt t	4.65	4.65	4.59	4.54	4.61

Tabelle 6. Ruderleistung (W)

Messung N	Win-tech	Empacher	Filippi	No-wing	Durchschnitt
1	278.0	260.9	306.9	284.2	282.5
2	333.6	327.6	361.8	325.6	337.2
3	421.0	427.8	459.3	422.7	432.7
4	690.0	688.2	610.1	621.9	652.6
Durchschnitt	430.7	426.1	434.5	413.6	426.2

Tabelle 7. Blatt Effizienz

Messung N	Win-tech	Empacher	Filippi	No-wing	Durchschnitt
1	76.4%	78.8%	76.2%	78.6%	77.5%
2	77.9%	80.8%	79.3%	77.5%	78.9%
3	78.3%	79.4%	77.9%	81.4%	79.3%
4	79.1%	80.5%	78.9%	78.2%	79.2%
Durchschnitt	77.9%	79.9%	78.1%	78.9%	78.7%

Tabelle 8. Vortriebsleistung (W)

Messung N	Win-tech	Empacher	Filippi	No-wing	Durchschnitt
1	212.4	205.7	233.7	223.3	218.9
2	259.8	264.5	286.9	252.3	265.9
3	329.8	339.6	358.0	344.1	343.0
4	545.8	554.3	481.2	486.3	516.7
Durchschnitt	335.6	340.4	339.2	326.4	335.4

Tabelle 9. Brutto Drag Faktor DF_{R1}

Messung N	Win-tech	Empacher	Filippi	No-wing	Durchschnitt
1	3.256	3.201	3.480	3.329	3.321
2	3.189	3.141	3.370	3.471	3.291
3	3.223	3.275	3.469	3.229	3.300
4	3.190	3.280	3.420	3.464	3.337
Durchschnitt	3.344	3.377	3.511	3.479	3.427

Detaillierte Daten der Schleppmessungen

Tabelle 10. Schleppergebnisse des Empacher Bootes

Lauf N	Schleppgeschwindigkeit V (m/s)	Bremswiderstand R_T (N)	Surfacing ΔT , mm	Trim ψ (deg)
Zuladung 80 kg				
1	4.009	48.731	-3.750	0.147
2	4.009	48.567	-4.687	0.145
3	4.009	48.567	-4.117	0.149
	Durchschnitt	48.622	-4.185	0.147
1	5.003	74.789	-4.687	0.246
2	5.005	74.461	-5.666	0.251
3	5.016	74.592	-5.951	0.228
	Durchschnitt	74.614	-5.435	0.242
Zuladung 90 kg				
1	4.002	50.900	-5.543	0.149
2	4.007	50.867	-4.850	0.151
3	4.007	51.064	-4.443	0.151
	Durchschnitt	50.944	-4.945	0.150
1	5.000	77.911	-6.032	0.246
2	5.006	78.010	-6.155	0.246
3	5.014	78.075	-5.177	0.251
	Durchschnitt	77.998	-5.788	0.248

Tabelle 11. Schleppergebnisse des Filippi Bootes

Lauf N	Schleppgeschwindigkeit V (m/s)	Bremswiderstand R_T (N)	Surfacing ΔT , mm	Trim ψ (deg)
Zuladung 80 kg				
1	4.007	48.468	-3.994	0.158
2	4.010	48.961	-4.198	0.165
3	4.010	49.060	-3.750	0.156
	Durchschnitt	48.830	-3.981	0.160
1	5.000	74.198	-4.891	0.255
2	5.001	74.757	-7.948	0.246
3	5.003	74.099	-2.527	0.239
	Durchschnitt	74.351	-5.122	0.247
Zuladung 90 kg				
1	4.004	51.722	-7.826	0.174
2	4.008	50.802	-0.571	0.151
3	4.008	51.130	-1.101	0.154
	Durchschnitt	51.218		
1	5.003	78.404	-4.647	0.280
2	5.004	78.733	-9.416	0.282
3	5.006	79.258	-7.092	0.316
	Durchschnitt	78.798	-7.052	0.293

Tabelle 12. Schleppergebnisse des WinTech Bootes

Lauf N	Schleppgeschwindigkeit V (m/s)	Bremswiderstand R_T (N)	Surfacing ΔT , mm	Trim ψ (deg)
Zuladung 80 kg				
1	4.008	48.041	-4.117	0.201
2	4.018	48.501	-5.910	0.199
3	4.018	48.041	-6.481	0.181
	Durchschnitt	48.194	-5.503	0.194
1	5.012	73.672	-5.503	0.285
2	5.022	73.672	-6.196	0.298
3	5.025	74.099	-6.399	0.296
	Durchschnitt	73.814	-6.033	0.293
Zuladung 90 kg				
1	4.008	50.604	-4.728	0.208
2	4.008	50.834	-7.296	0.206
3	4.014	50.900	-6.318	0.201
	Durchschnitt	50.779		
1	5.005	77.418	-6.155	0.318
2	5.010	77.681	-7.744	0.318
3	5.019	77.714	-5.992	0.321
	Durchschnitt	77.604	-6.630	0.319

Tabelle 13. Schleppergebnisse des Nowing Bootes

Lauf N	Schleppgeschwindigkeit V (m/s)	Bremswiderstand R_T (N)	Surfacing ΔT , mm	Trim ψ (deg)
Zuladung 80 kg				
1	4.006	48.863	-5.217	0.183
2	4.006	48.863	-3.668	0.172
3	4.014	48.666	-5.421	0.183
	Durchschnitt	48.797	-4.769	0.179
1	5.006	74.987	-6.807	0.287
2	5.008	74.789	-4.239	0.305
3	5.011	74.034	-5.992	0.287
	Durchschnitt	74.603	-5.679	0.293
Zuladung 90 kg				
1	4.004	51.459	-7.296	0.201
2	4.009	51.623	-4.810	0.203
3	4.010	51.656	-6.073	0.196
	Durchschnitt	51.579		
1	5.007	78.470	-5.462	0.314
2	5.007	78.963	-6.888	0.318
3	5.013	78.765	-6.644	0.316
	Durchschnitt	78.733	-6.331	0.316