

## **Wetter und Bootsgeschwindigkeit**

Es ist eine Tatsache, daß die Bootsgeschwindigkeit von der Windgeschwindigkeit, -richtung und Wassertemperatur abhängt. Dank Klaus Filter (1) können wir Daten, die in den 1970er Jahren in der DDR erhoben wurden, analysieren. Klaus schrieb: "Die physikalischen Eigenschaften des Wassers ändern sich mit der Temperatur..... Die Beweglichkeit der Wassermoleküle verringert sich bei niedrigeren Temperaturen", was den Bremswiderstand erhöht. Fig. 1 zeigt, daß **sich die Bootsgeschwindigkeit um 1,3% verringert (~4s über 2k), wenn sich die Wassertemperatur von 20° C auf 5° C abkühlt**. Wenn das Wasser wärmer wird, bis auf 30°, dann wird das Boot 0,6% schneller (~1.8s über 2k). Der Leistungstrend passt sehr gut zu den experimentellen Daten ( $R^2 = 0.99$ ).

Die Daten für den Windwiderstand erhielt man aus der Arbeit mit einem Windkanal. Klaus schrieb: "Das System von Mannschaft und Boot erzeugt über der Wasserlinie einen Widerstand von ungefähr 13% des hydrodynamischen Widerstandes." Das bedeutet, daß der Windwiderstand 11,5% des gesamten Widerstandes umfasst. Boot und Ausleger tragen 15% zum Windwiderstand (1.7% des Gesamtwiderstandes), die Körper der Ruderer – 35% (4.0%) und die Ruder – 50% (5.7%). "Diese Anteile vergrößern sich bis um das Vierfache unter Gegenwindbedingungen und gehen bei ausreichend Schiebewind gegen null."

Fig. 2 zeigt, daß gerade Winde und Winde in einem Winkel von 30 Grad einen größeren Effekt auf kleinere Boote haben: 5 m/s Gegenwind macht einen Einer um 17.4% und einen Achter um 12.2% langsamer, gleich schneller Schiebewind macht einen Einer um 7.5% und einen Achter um 5.1% schneller. Laut den Daten von hat ein seitlicher Gegenwind von 60 Grad einen ähnlichen Effekt auf alle Bootsklassen (etwa 10% langsamer bei 5 m/s) und ein seitlicher Schiebewind mit der gleichen Geschwindigkeit ist günstiger für die kleineren Boote. Seitenwind hat einen größeren Effekt auf größere Boote: 5 m/s Seitenwind macht einen Einer um 1.6% und einen Achter um 4.1% langsamer. Die polynomischen Trends zweiter Ordnung passen sehr gut zu den experimentellen Daten ( $R^2 > 0.99$ ) außer 60 Grad und Seitenwind bei den Achtern ( $R^2 = 0.93$  bzw. 0.53).

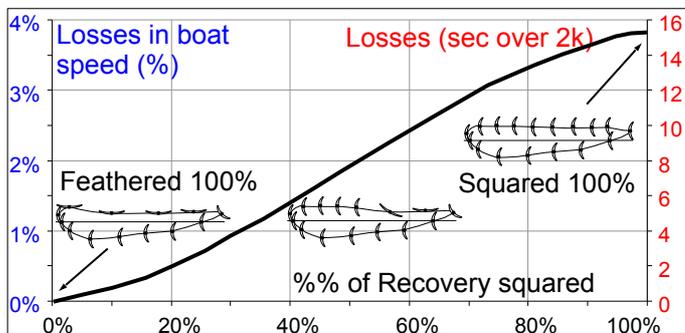
**Wie können wir nun die obigen Daten mit den Ergebnissen der Weltregatten überprüfen?** Fig. 3 zeigt, daß die Geschwindigkeiten der Sieger normalerweise innerhalb einer Spannweite von  $\pm 5\%$  von der Durchschnittsgeschwindigkeit in der

jeweiligen Bootsklasse liegen. Die langsamsten (typischerweise 8% langsamer als der Durchschnitt) und die schnellsten Geschwindigkeiten (3.9% schneller) korrespondieren mit dem Schiebe-/Gegenwind von 3-4 m/s gemäß den Daten von Klaus. Leider sind keine statistischen Daten zu den Wetterbedingungen verfügbar, aber wir können abschätzen, daß die stärksten Winde höhere Geschwindigkeiten hatten (z.B. ist ein Wind von 5m/s lediglich als „leichte Brise“  $n=3$  auf der Beaufort Skala klassifiziert). Deshalb ist es möglich, daß die präsentierten Diagramme den Einfluß des Windes leicht überschätzen. Es ist bemerkenswert, daß Gegenwind die größten Effekte auf die Leichtgewichtsrennen hat, was im Hinblick auf die geringere Masse und Leistung der Athleten verständlich ist. Es sieht auch so aus, als würden Doppelzweier durch den Wind weniger beeinflusst als Riemenzweier.

Die obigen Daten erlauben uns das Erstellen eines Modells, welches die Bootsgeschwindigkeit bei verschiedenen Wind- und Wassertemperaturbedingungen voraussagt. Das Modell wurde als eine Web-App in Kombination mit dem Riggerdiagramm implementiert (<http://www.biorow.com/RigChart.aspx>).

**Was können wir tun, um den Windwiderstand zu reduzieren?** Klaus rät das Folgende: "In Mannschaften, wo die Höhe der sitzenden Athleten wahrnehmbar verschieden ist, sollte der größte Ruderer im Bug sitzen, damit er den anderen Windschutz bietet.... Die Ruderer sollten Caps tragen, um ihre Haare bei starkem Gegenwind darunter zu verbergen. Die Kleidung hat keinen Einfluß, solange sie nicht flattert."

Wir können hinzufügen, daß **die Technik des Auf- und Abdrehens des Blattes sehr wichtig ist**. Während des Vorrollens bewegt sich das Blatt mit einer Geschwindigkeit von bis zu 15 m/s (50 km/h). Das ist die Summe aus Bootsgeschwindigkeit (sie ist während des Vorrollens am Größten und kann bis zu 7 m/s beim M8+ betragen) und Griffgeschwindigkeit (bis zu 3 m/s) multipliziert mit dem Übersetzungsverhältnis (2.3-2.4). Der Luftwiderstand des Blattes ist sehr signifikant, weil er im Quadrat zur Geschwindigkeit ansteigt. Wenn ein Ruderer das Blatt früh aufdreht, vergrößert er die Windangriffsfläche, was zusätzlichen Geschwindigkeitsverlust erzeugt. Das Diagramm unten zeigt die Verluste bei verschiedenen lange aufgedrehtem Blatt beim Vorrollen:



**Wenn das Blatt bereits früh auf der Hälfte des Vorrollens aufgedreht wird, dann kann die Mannschaft bis zu 10 s über ein 2k Rennen bei ruhigen Bedingungen und bis zu 30 s bei einem Gegenwind von 5 m/s verlieren.**

**Referenzen**

1. Filter K.B. 2009. The System Crew – Boat. Lecture during FISA juniors' coaches' conference, Naples, 15-18 October 2009 (also on <http://www.scribd.com/doc/21984934/klaus-Filter> )

**Contact Us:**

✉ ©2009: Dr. Valery Kleshnev,  
[kleva1@btinternet.com](mailto:kleva1@btinternet.com) , [www.biorow.com](http://www.biorow.com)



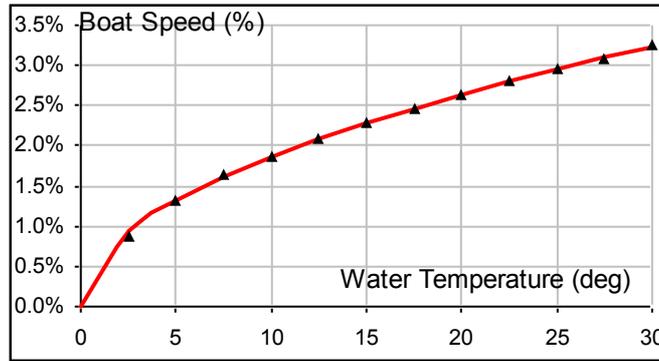
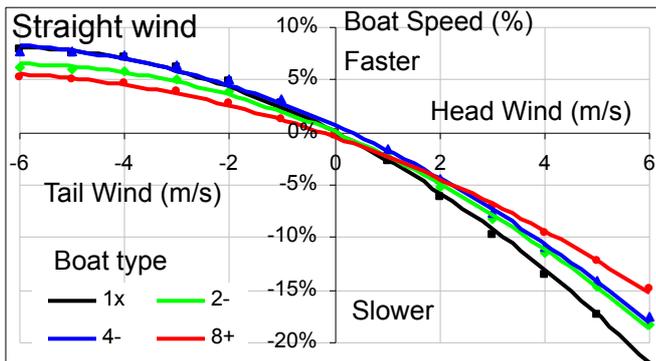
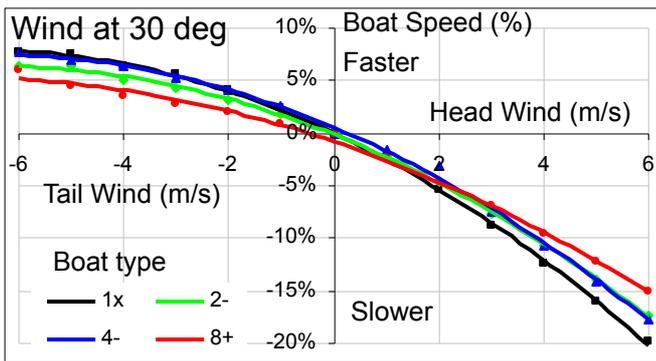


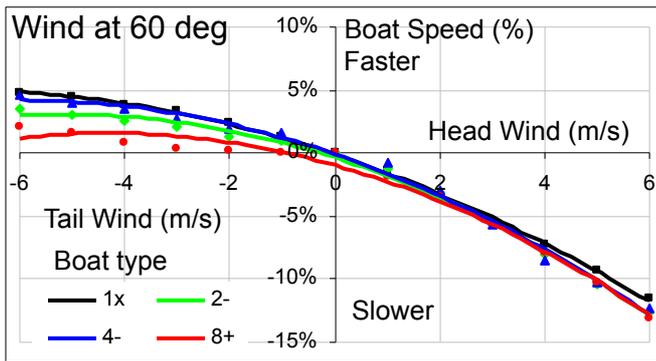
Fig. 1. Abhängigkeit der Bootsgeschwindigkeit von der Wassertemperatur. Die Punkte sind die experimentellen Daten von Klaus Filter (1), die Linie der dazu passende Leistungstrend.



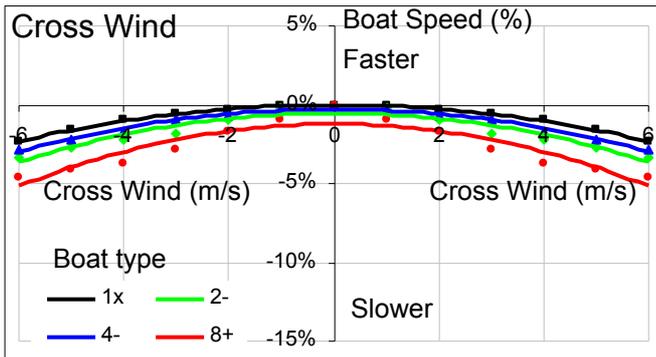
a)



b)

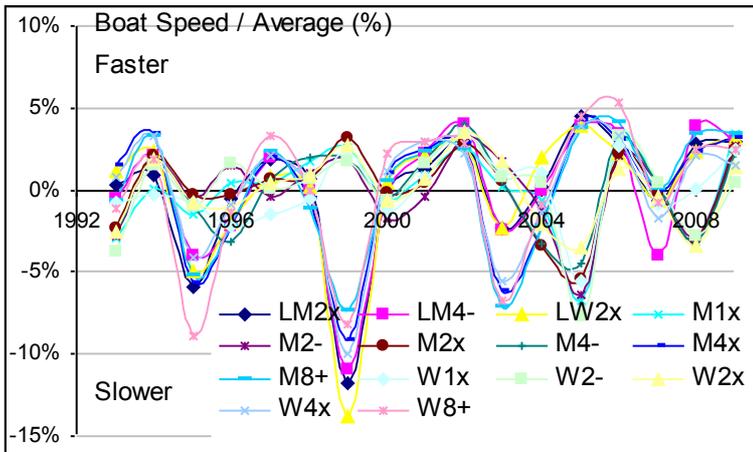


c)



d)

**Fig. 2. Abhängigkeit der Geschwindigkeiten verschiedener Bootsklassen auf Windrichtung und -geschwindigkeit. Die Punkte sind die experimentellen Daten von Klaus Filter (1), die Linien sind die polynomischen Trends zweiter Ordnung.**



Boot	Min	Max	Spanne
LW2x	-13.8%	3.9%	17.8%
LM2x	-11.8%	4.5%	16.3%
LM4-	-10.9%	4.1%	15.0%
W8+	-8.8%	5.3%	14.2%
W4x	-9.9%	3.9%	13.9%
M4x	-9.2%	4.2%	13.4%
M8+	-7.3%	4.1%	11.4%
W2-	-7.7%	3.5%	11.2%
M1x	-6.8%	3.4%	10.2%
M2-	-6.4%	3.1%	9.6%
W1x	-5.5%	3.5%	9.0%
M2x	-5.5%	3.2%	8.6%
M4-	-4.5%	4.0%	8.5%
W2x	-3.6%	3.5%	7.1%
<b>Alle Boote</b>	<b>-8.0%</b>	<b>3.9%</b>	<b>11.9%</b>

**Fig. 3. Schwankung der Bootsgeschwindigkeiten relativ zum Durchschnitt der Sieger bei WM und OS von 1993-2009 in der jeweiligen Bootsklasse.**