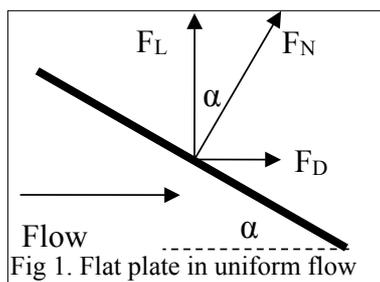


## Original Forschung

Marinus van Holst ([m.holst@hccnet.nl](mailto:m.holst@hccnet.nl)), ein Ingenieur aus den Niederlanden hat uns eine wirklich interessante Studie über die **Lift- und Bremskräfte am Ruderblatt** zugeschickt. Marinus präsentiert Gleichungen, die die Lift- und Bremskräfte mit dem Angriffswinkel verknüpfen. Mit den experimentellen Daten kann die Modellierung jetzt viel einfacher durchgeführt werden.

Seit Volker Nolte's Doktorarbeit, "Wie wird ein Ruderboot angetrieben?" hat die hydrodynamische Liftkraft viele Leute in der Rudergemeinde angezogen. Für Einige hat sie einen fast schon mythischen Status erreicht. Aus den Nachrichten in den Ruder-Newsgruppen kann man den Eindruck gewinnen, daß die Liftkraft gut und die Bremskraft schlecht ist. Das ist verständlich, weil Brems- und Liftkraft ursprünglich Begriffe aus der Luftfahrt sind und für ein Flugzeug bedeutet Liftkraft die Nutzlast (gut) und Bremskraft bedeutet Kraftstoffverbrauch (schlecht). Eine Menge Forschungsarbeit wurde in die Entwicklung eines Tragflächenprofils (Querschnitt einer Tragfläche) investiert, die maximale Lift- und minimale Bremskraft erzeugt. Im Rudern sind die Dinge ein wenig anders: Es ist von Vorteil die Bedeutung von Lift- und Bremskraft zu verstehen, aber die Möglichkeiten, dieses Wissen zum Vorteil (schneller zu rudern) einzusetzen sind, sehr begrenzt.



Ein Körper, der sich durch eine Flüssigkeit bewegt, erfährt eine Kraft. Im Allgemeinen ist die Richtung der Kraft nicht die gleiche wie die Bewegungsrichtung. Deshalb kann die Kraft in eine Komponente, rechtwinklig zur Fließrichtung, die Liftkraft, und eine Komponente in Fließrichtung, die Bremskraft zerlegt werden. (Im Falle des Flugzeuges bedeutet Lift auch: "gegen die Schwerkraft"; daher der Name). Die Lösung ist eine geometrische und keine physikalische, und die Konsequenz ist, daß die Komponente der Bremskraft arbeitet und die der Liftkraft nicht. Das hat selbstverständlich eine physikalische Bedeutung: Arbeit (eigentlich Leistung) kann auch als das Skalarprodukt eines Kraft- und eines Geschwindigkeitsvektors berechnet werden. Wenn der Körper, der dem Fluß ausgesetzt ist, ein flacher Teller ist, und wir einen

zweidimensionalen Fall annehmen wie in Fig.1, dann ist die Kraft  $F_N$  rechtwinklig zum Teller (weil auf elementarer Ebene die Kraft die Resultierende des normalen Druckes auf beiden Seiten ist) und der Winkel  $\alpha$  zwischen  $F_L$  und  $F_N$  ist der gleiche Winkel wie der Winkel zwischen Teller und Fließrichtung, der Angriffswinkel  $\alpha$ . Es gibt eine strenge Beziehung zwischen der Brems- und Liftkraft:

$$F_D / F_L = \tan \alpha$$

Vor Kurzem führten Caplan and Gardner (1) Experimente durch, um die Lift- und Bremskräfte an einem flachen Teller und einem Bigblade herauszufinden. Die Ergebnisse wurden in Lift- und Bremskoeffizienten  $C_L$  und  $C_D$  ausgedrückt. Die Ergebnisse folgen aus:

$$F_L = C_L 0.5 \rho v^2 A$$

$$F_D = C_D 0.5 \rho v^2 A$$

wobei  $\rho$  die Dichte des Wassers,  $v$  die Fließgeschwindigkeit und  $A$  die Blattfläche ist. Die Graphen, die sie fanden, entsprechen etwa

$$C_D = 2C (\sin \alpha)^2$$

$$C_L = C \sin(2\alpha)$$

wobei  $C$  eine dimensionslose Konstante ist, die eine Funktion der Oberfläche der Blattform repräsentiert. Dies bestätigt die Beziehung:

$$F_D / F_L = C_D / C_L = \tan \alpha$$

Diese Ausdrücke wurden in (1) nicht vorgestellt. Einige kleine Unterschiede zwischen dem flachen Teller und dem Bigblade wurden gefunden, sie sind in diesem Kontext aber nicht relevant. Was wichtig war: Die Blattkraft ist rechtwinklig zur Sehne des Bigblades. Es wurden keine Kräfte innerhalb des Blattes (Reibung) gemessen.

Diese Ergebnisse führten zu einer alternativen Formulierung für die Lift- und Bremskräfte und die Koeffizienten. Die normale Kraft auf das Blatt:

$$F_N = \sqrt{F_D^2 + F_L^2} \quad \text{and} \quad C_N = \sqrt{C_D^2 + C_L^2}$$

Mit den obigen Ausdrücken wird das

$$C_N = 2C \sin \alpha + \sqrt{1 + (\cos \alpha)^2}$$

Die Verlustleistung  $P_W$ , die vom Blatt auf das Wasser übertragen wird, ist ein Teil der Ruderleistung, die das Wasser erwärmt anstatt das Boot vorwärtszutreiben:

$$P_W = F_D v = F_N v \sin \alpha$$

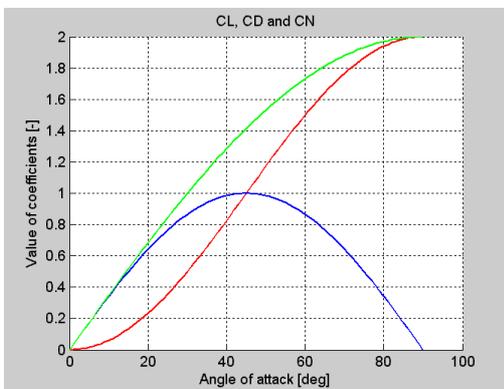


Fig 2  $C_D$  - red;  $C_L$  - blue;  $C_N$  - green

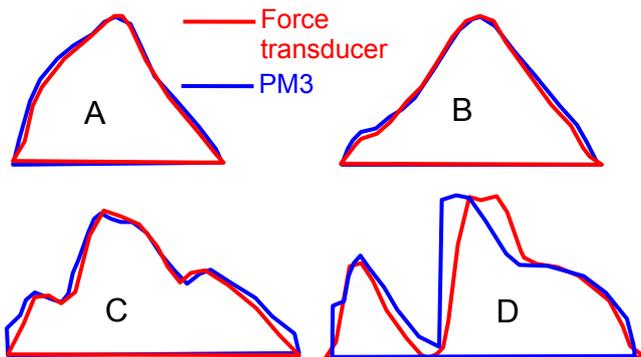
### Referenzen

1. Caplan N., Gardner T.N. 2007. A fluid dynamic investigation of the Big Blade and Macon oar blade designs in rowing propulsion. Journal of Sports Sciences, 25(6): 643-650.

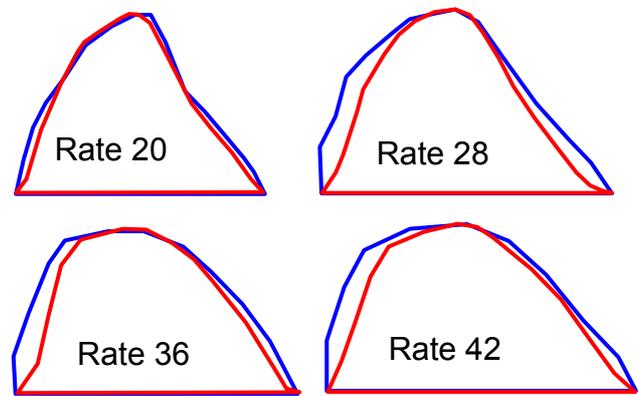
### Frage&Antwort

Wir erhielten nach unserer vorangegangenen Publikation über den Vergleich der Kraftkurven auf dem PM3 Monitor sehr gutes Feedback. Hier zeigen wir die Ergebnisse von zusätzlichen Analysen, zu denen wir durch zwei Kommentare angeregt wurden:

1. Scott Hamilton, ein Elektronik-Ingenieur bei Concept2 Inc., riet uns, die Software des PM3 Monitors upzugraden. Die neueste Version 101 wurde von Webseite [www.Concept2.com](http://www.Concept2.com) heruntergeladen und auf den PM3 Monitor hochgeladen. Scott machte deutlich, daß der PM3 die Kraft/Zeit-Kurve anzeigt, so wiederholten wir das Experiment mit der Kraft/Zeit-Kurve mit PM3 und Computerdisplay mit derselben Videomethode wie schon zuvor (RBN 04/2008). Der Vergleich zeigte eine viel bessere Korrespondenz:



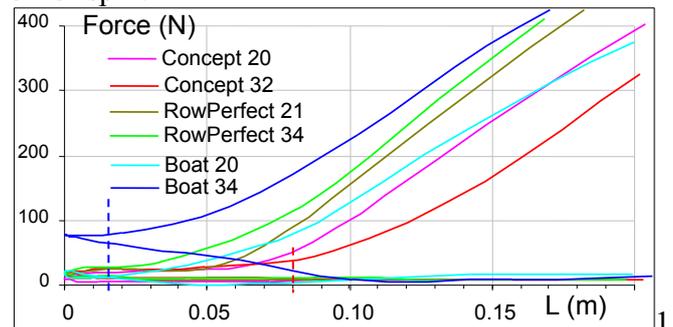
Lediglich Kurve D mit einer sehr holperigen Form war ein wenig unterschiedlich, aber diese Art Kurve findet man in der Praxis eher nicht. Dann entschieden wir uns die Korrespondenz bei verschiedenen Schlagfrequenzen zu überprüfen:

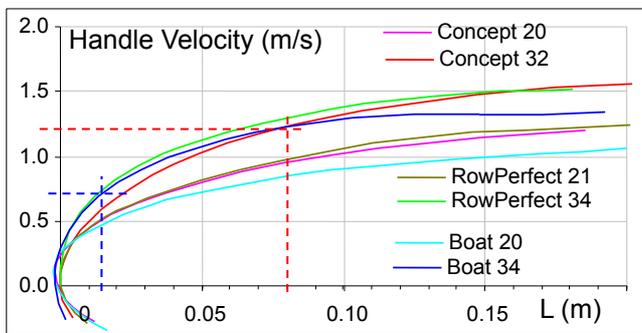


Wie man sieht, ist die Korrespondenz bei höheren Frequenzen nicht so gut.

2. Wir hatten eine interessante Diskussion mit Cas Rekers, dem Erfinder der RowPerfect Maschine über den Grund für das Spiel/den Leerlauf bei der Kraft-/Längen-Kurve in der Auslage. Cas klärte uns auf, daß die Kupplung selbst sehr präzise sei und es weniger als  $\frac{1}{4}$  mm Kettenweg braucht, um die Kette einzusetzen. Wie auch immer, die Antriebswelle mit dem Windrad rotiert mit einer signifikanten Geschwindigkeit, und so muß die Kette das antreibende Zahnrad erst bis auf diese Geschwindigkeit beschleunigen bevor die Kupplung einrastet. Wir stimmten beide darüber überein, diese Phase des Durchzuges „Griffbeschleunigung“ oder „Ineinandergreifstrecke“ zu nennen. Während dieser Phase ist das Zahnrad langsamer als die Rotation der Antriebswelle und die Kupplung ist nicht eingrastet, ähnlich wie bei einem Ruderboot, wo das Blatt noch nicht eingrastet ist. Das bedeutet, daß noch keine Energie zum Windrad hinzugefügt worden ist und die gemessene Kraft wirklich klein ist.

Um den Moment zu vergleichen, wo die Kuppelung einrastet und der Moment, wo das Ruderblatt beim Rudern auf dem Wasser einrastet, nutzten wir Daten von einem Experiment aus 2004 (RBN 03/2005, 1), die wir sowohl auf Concept2 und RowPerfect Ergometern als auch von einem Einer auf dem Wasser erhielten. Die Schlagfrequenzen waren im Training 20-21spm und im Rennen 32-34spm:





Die Diagramme oben zeigen, daß die Kraft sehr steil ansteigt, wenn sich die Griffgeschwindigkeit von 0.7m/s im Einer 34spm bis 1,2m/s auf dem Concept2 bei 32spm befindet. Beim Rudern auf dem Wasser und auf dem RowPerfect braucht es weniger als 4cm Strecke, um den Halt zu finden, verglichen mit dem Concept2, wo es 7-8cm bei 32spm braucht.

Generell ist das Muster der Griffbeschleunigung in der Auslage auf beiden Ergometern und beim Rudern auf dem Wasser recht ähnlich, weil es mehr von der Beschleunigung der Ruderermasse im Boot/Rahmen abhängig ist als nur von der Beschleunigung der Kette/des Ruders. Die geringere Distanz beim Ineinandergreifen zeigt den Unterschied zwischen den Systemen der sich bewegenden Massen (Boot und RowPerfect) und dem stationären System (Concept2) an. Das Rudern auf dem Wasser bei hohen Frequenzen hat ein unverwechselbares Merkmal, weil die signifikante Trägheit des Ruders vor dem Fassen, wenn sich der Griff in Richtung Heck bewegt, etwas Kraft auf den Griff erzeugt.

### Referenzen

2. Kleshnev V. 2005. Comparison of on-water rowing with its simulation on Concept2 and Rowperfect machines. Scientific proceedings. XXII International Symposium on Biomechanics in Sports, Beijing. 130-133.

### Contact Us:

✉ \* Dr. Valery Kleshnev, [kleval@btinternet.com](mailto:kleval@btinternet.com),  
[www.biorow.com](http://www.biorow.com)