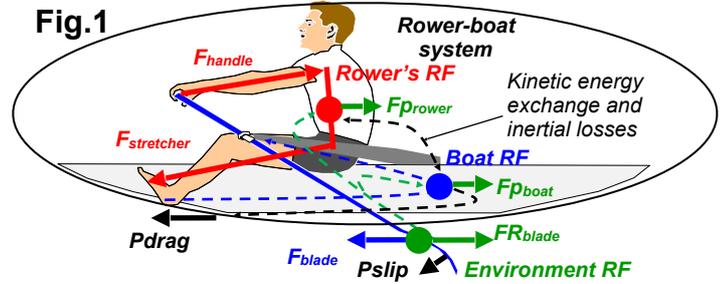


Leistung und kinetische Energie im Rudern

Wir hatten eine interessante Diskussion mit Mathijs Hofmijster über die Leistung im Rudern ([full text is here](#)) (in Englisch). Mein Standpunkt war, daß die Messungen der Leistung und die „Anwendung der Newton’schen Gesetze“ (Analyse von Leistungsumwandlung in Bewegung und kinetische Energie, was Mathijs versuchte zu tun) zwei verschiedene Gebiete sind und verschiedene Methoden zu ihrer Analyse nutzen. Der erste Bereich zielt darauf ab, wie die Leistung PRODUZIERT WIRD; der zweite - wie sie GENUTZT WIRD.

Ein Beispiel: Bei einem Auto ist die Definition der Motorenleistung sehr einfach: Das Produkt von Drehmoment auf die Kurbelwelle multipliziert mit den Umdrehungen pro Minute (rpm). Die Motorenleistung hängt nicht von den Beschleunigungen und Bewegungen des Autos ab und kann akkurat und verlässlich bestimmt werden, wenn ihre beiden Komponenten gemessen werden. Ähnlich verhält es sich beim Rudern und Radfahren. Es gibt dabei nur einen Weg, wie die Leistung auf die externe Umgebung übertragen werden kann: Das Ruder beim Rudern und die Kurbelwelle-Kette beim Radfahren. Andere zyklische Sportarten (Laufen, Schwimmen, Kanu, Skilanglauf, etc.) sind nicht so „glücklich“- sie benötigen anspruchsvollere Methoden, um die Leistungserbringung zu berechnen. Deshalb **kann die Netto Ruderleistung akkurat und verlässlich bestimmt werden mit Kraft-Geschwindigkeits- oder Drehmoment-rpm-Messungen am Ruder**. Bisher gab es keine Argumente, die diese Feststellungen widerlegt haben.

Die Analyse von der Umwandlung der Ruderleistung in Bewegung und kinetische Energie beginnt mit der Auswahl des Referenzrahmens (**RF**), gemäß dem „freien Körper“, und dann seine Interaktion mit der Umgebung. Wenn RF in Verbindung mit der Umgebung gewählt ist (Wasser, das das Boot umgibt, und nicht die „Erde“, d.h. das Ufer, wie von unseren respektierten Opponenten vorgeschlagen wird), kann der „freie Körper“ nur das gesamte Ruderer-Boot-System sein und nicht nur der Ruderer allein. Ein offensichtlicher Grund dafür ist der folgende: Ruderer und Radfahrer interagieren nicht direkt mit der Umgebung (wie Läufer und Schwimmer das tun): sie übertragen ihre Leistung über ein Getriebesystem, mit welchem sie ihre Geschwindigkeit erhöhen, aber ihre Kraft reduzieren. Beim Rudern sind nur die Blattreaktionskraft und die Bremskraft an der Bootshaut extern, relativ zum Ruderer-Boot-System. Alle anderen Kräfte, die vom Ruderer erbracht werden (Griff-, Stemmbrett-, Dollenkräfte) sind intern und können nicht direkt auf die Umgebung bezogen werden. Daher macht es nicht wirklich Sinn, die internen Kräfte mit ihren Geschwindigkeiten relativ zur externen Umgebung zu multiplizieren, so wie es unsere Opponenten getan haben.



Hier ist unser Modell zur Leistungsübertragung in kinetische Energie beim Rudern (Fig.1), der Einfachheit halber ohne die dahinter stehenden mathematischen Gleichungen.

1. Der Ruderer ist die einzige Energiequelle, die das gesamte Ruderer-Boot-System bewegt. Der Ruderer erbringt **Brutto-Leistung** an Griffe und Stemmbrett, wobei der Gebrauch des Körperschwerpunktes (CM) des Ruderers als Referenzrahmen definiert werden sollte. Dies ist ein nicht-träger RF, aber dies beeinflusst die Leistungsberechnungen nicht, wenn Kräfte und Geschwindigkeiten direkt gemessen werden.
2. Vom Ruderer wird Leistung an das Ruder abgegeben und wird so zur **Netto-Leistung**, die dann auf die externe Umgebung übertragen wird. Wenn das Ruder um den an das Boot fest montierten Dollenstift rotiert, sollte das Boot als RF genutzt werden. Dies ist auch ein nicht-träger RF, aber, noch einmal, die Netto-Leistung wird korrekt bestimmt, wenn Ruderdrehmoment und Winkelgeschwindigkeit gemessen werden.
3. In dieser Umwandlung zwischen den RFs, geht etwas Leistung bei den relativen Bewegungen zwischen Ruderer und Boot verloren (Trägheitsverluste), daher ist die Netto-Leistung um 5-7% geringer als die Brutto-Leistung (RBN 2010/05).
4. Am Ruder wird die Netto-Leistung umgewandelt: Die Blattgeschwindigkeit verdoppelt sich nahezu verglichen mit der Griffgeschwindigkeit, und die Kraft verringert sich entsprechend proportional.
5. Die Blattkraft wird auf das Wasser angewandt, welches dann die entgegengesetzte Reaktionskraft aufbaut. Dies bewegt das gesamte System vorwärts. In diesem Falle sollte ein träger Umgebungs-RF genutzt werden, basierend auf dem Wasser, welches das Boot umgibt. Die Leistung, die in kinetische Energie des Systems umgewandelt wurde, ist das Produkt aus der vorwärts gerichteten Komponente der Blattreaktionskraft multipliziert mit der Geschwindigkeit des Systemschwerpunktes (CM).
6. Die Geschwindigkeit des Systemschwerpunktes CM ist geringer als die Blattgeschwindigkeit relativ zum Boot. Auf diesem Weg geht ein Teil der Blattleistung (15-20%, RBN 2012/06) als Schlupf im Wasser verloren.
7. Die Blattreaktionskraft wird über das Ruder zurück übertragen und zwischen den zwei Hauptkomponenten des Systems aufgeteilt: Dem Ruderer und dem Boot. Die Anteile hängen ab von der Aufteilung zwischen Griff-, Dollen- und

Stemmbrettkraft und variieren während des Durchzuges: Eine höhere Stemmbrettkraft (wenn der Ruderer den Beinschub betont) beschleunigt den Ruderer, verlangsamt aber das Boot; höhere Griff-/Dollenkraft (betonte Oberkörperarbeit) beschleunigt das Boot, beeinflusst aber die Beschleunigung des Ruderers negativ.

8. Die Leistungen, die auf die Massen von Ruderer und Boot angewandt und in kinetische Energie umgewandelt werden, sind das Produkt von den Anteilen der Blattvortriebskraft multipliziert mit ihren jeweiligen Geschwindigkeiten relativ zum Wasser in ihrem umgebenden RF.
9. Die zwei Komponenten des Systems, Ruderer und Boot, empfangen nicht nur Energie durch das Ruder, sondern tauschen sie auch untereinander aus. Während des Vorrollens liefern das/die Ruder keine Energie, der Ruderer aber zieht währenddessen am Stemmbrett und überträgt seine kinetische Energie auf das Boot, welches damit beschleunigt. Energieaustausch erfolgt auch während des Durchzuges: Nach dem Fassen beschleunigt der Ruderer aktiv mit der Beinarbeit seinen Körperschwerpunkt (CM), indem er kinetische Energie vom Boot aufnimmt, das sich dann verlangsamt (negativ beschleunigt). Dieser Austausch geht von den Anstrengungen des Ruderers aus und hat nichts mit der externen Umgebung zu tun. Es erscheint logisch anzunehmen, daß der Ruderer als RF genommen werden sollte, oder ein träger RF mit konstanter Geschwindigkeit, gleich der durchschnittlichen Geschwindigkeit des Systems über den gesamten Bewegungszyklus. Dies macht die Analyse recht herausfordernd, weil die Quelle der kinetischen Energie nicht immer klar zu erkennen ist. Die Komplexität multipliziert sich entsprechend mit der Anzahl der Ruderer in einer Mannschaft.
10. Schließlich geht alle Energie in Wasser- und Windwiderstand verloren. Den Großteil nimmt der Wasserwiderstand ein, der im Quadrat zur Geschwindigkeit im Wasser wächst. Das heißt, bei höheren Geschwindigkeiten gibt es höhere Verluste durch Reibung. Die höchsten Verluste treten beim Rudern bei den höchsten Geschwindigkeiten während des Vorrollens auf.

Das mathematische Modell mit seinen Gleichungen wird in einem späteren Newsletter vorgestellt, untermauert mit gemessenen Daten.