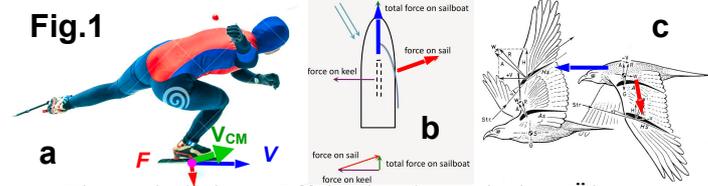


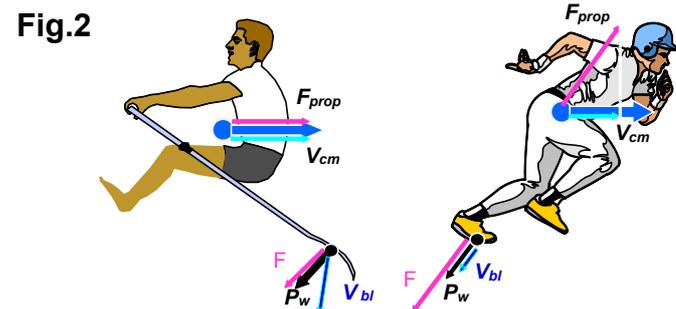
Über die vorwärtstreibende Blatteffizienz

Die Blatteffizienz ist bei den Diskussionen in der Ruderergemeinde ein sehr populäres Thema, und die Meinungen darüber sind immer noch recht kontrovers. Die "altmodischste" Ansicht ist die, daß ein weiter Auslagewinkel die Blattarbeit ineffizient macht, weil "das Ruder den Dollenstift nach innen drückt anstatt das Boot vorwärts zu bewegen". Dieser Mythos ist recht einfach zu widerlegen mit dem Verständnis einer sehr einfachen Tatsache: Leistung ist das Skalarprodukt von Kraft- und Geschwindigkeitsvektoren (Ihre Größen multipliziert mit dem Cosinus ihrer Winkel zueinander), wenn also diese zwei Vektoren rechtwinklig zu einander stehen (cosinus 90° = 0), dann ist die Leistungsproduktion mit null gleichzusetzen. Wenn die seitwärts gerichteten Kräfte am Blatt/Dollenstift senkrecht zur Bootsgeschwindigkeit sind, produziert das selbst keine Verlustleistung (RBN 2006/06). Weitere Auslagewinkel allein machen das dynamische Druckempfinden beim Ruder härter (ähnlich wie beim Radfahren mit einem hohen Gang), aber es erzeugt selbst keine Energieverluste oder verringert die Blatteffizienz.



Einen ähnlichen Effekt der dynamischen Übersetzung kann man bei anderen Fällen beobachten, wo es hilft, eine höhere Fortbewegungsgeschwindigkeit zu erreichen bei selbst geringerer Geschwindigkeit der Vortriebskraft (Fig.1):

- Beim Eisschnelllaufen oder Skilanglauf, wo der Athlet die Kraft auf den Schuh/Ski seitwärts anbringt. Damit ist er schneller als Läufer, die ihre Vortriebskraft direkt nach hinten anbringen;
- Beim Segeln sind die Boote schneller bei Seiten- oder auch Seiten-Gegenwind als bei direktem Schiebewind;
- Vögel schwingen ihre Flügel auf und ab (manchmal recht langsam), aber sie fliegen vorwärts.
- Schwimmer und Paddler bewegen die Hand/das Paddel seitwärts und vergrößern damit ihre Vortriebseffizienz.



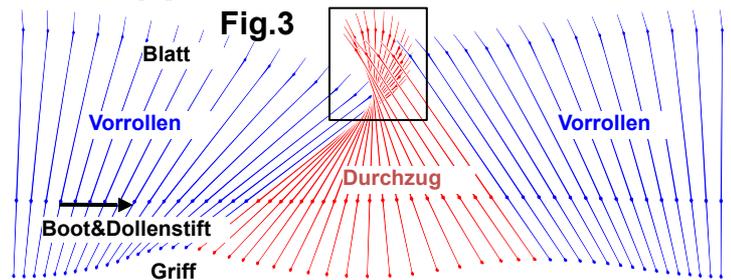
Die korrekte Definition der Blatteffizienz ist auch ähnlich der anderer Fortbewegungen: Sie ist ein Teil der gesamten Leistungsproduktion, der zum Vortrieb

für das Athleten-Sportgerät-System aufgewandt wird (Fig.2). Wenn sich ein Läufer von weicher Erde abdrückt (Sand oder Schnee) oder von einer rutschigen Oberfläche (Eis), dann bewegt sich der Gegenpunkt/ das Widerlager und Teile der Leistung gehen darin verloren, was dann die Vortriebsleistung und Effizienz verringert. Das macht das Laufen dann langsamer. Das Wasser ist immer „weich“. Wenn also die Ruderer nun Kraft auf das Blatt anbringen, dann gleitet es durch das Wasser, was dann eine Bewegung des Gegenpunktes/ Widerlagers erzeugt und etwas Verlustleistung P_w , die definiert werden kann als das Produkt von Blattkraft F , die mit der Geschwindigkeit des Blattschlupfes durch das Wasser V_{bl} und dem Cosinus des Winkels φ bzw. zwischen ihren Vektoren multipliziert wird:

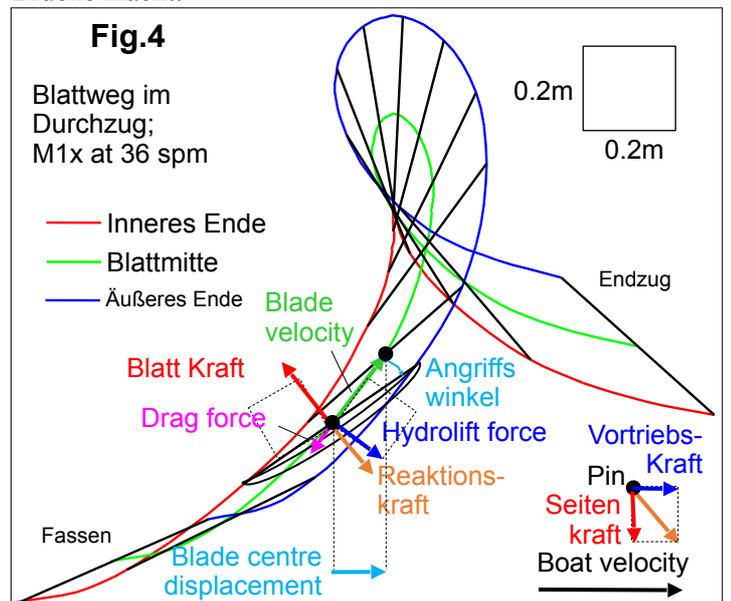
$$P_w = F V_{bl} \cos(\varphi) \quad (1)$$

Diese Verlustleistung P_w wird von der Gesamtruderleistung P abgezogen, und der übriggebliebene Teil ist die Vortriebskraft P_{prop} , die das Ruderer-Boot-System vorwärts bewegt. Die allgemeine Definition der vorwärtstreibenden Blatteffizienz E_{bl} ist das Verhältnis von Vortriebsleistung zu Gesamtleistung P :

$$E_{bl} = P_{prop} / P = (P - P_w) / P \quad (2)$$



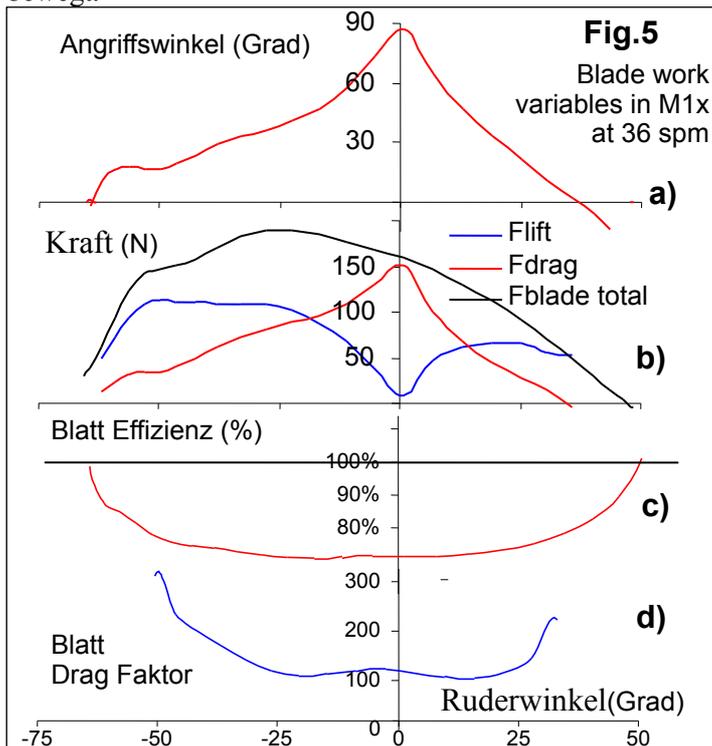
Mit dem **BioRow** Telemetrie System können wir sehr genau Ruderwinkel und Bootsbeugung messen, diese Daten zur Rekonstruktion des Blatt-/Ruderweges während des Ruderschlages nutzen (Fig.3), und erhalten so ein Bild, das einem Video ähnlich sieht, als wenn man es von einer Brücke macht.



Mit der detaillierteren Analyse der Blattbewegung während des Durchzuges (Fig.4) können wir den Geschwindigkeitsvektor V_{bl} am Blattmittelpunkt und den Angriffswinkel des Blattes bei der Druckaufnahme (angle

of attack) Aa relativ zum Wasser (es ist wichtig, daß man die Durchbiegung des Blattes mit berücksichtigt) messen. Dazu kann auch noch die Kraft F_{bl} , die am Blattmittelpunkt angebracht wird, von der Griffkraft und dem Verhältnis von Innen- und Außenhebel abgeleitet werden. In diesem Fall **bewegt sich der Blattmittelpunkt mit dem Boot zusammen vorwärts. Das geschieht ab dem Fassen bis zu einem Ruderwinkel von etwa -25 Grad vor dem Dollenstift, und dann noch einmal von etwa 15 Grad nach dem Dollenstift bis zum Endzug, es bewegt sich also nur etwa 35% der Durchzugszeit rückwärts durch das Wasser und schlupft dabei nur etwa 12cm zurück. Das äußere Ende des Blattes schlupft etwas mehr (etwa 30cm), aber das innere Ende des Blattes schlupft überhaupt nicht rückwärts, sondern bewegt sich ständig mit dem Boot vorwärts. Während des gesamten Durchzuges bewegt sich die Blattmitte zusammen mit dem Boot um 1,68m vorwärts.**

Wenn sich das Blatt mit einem Angriffswinkel (angle of attack) Aa , der anders ist als 90° , durch das Wasser bewegt, erzeugt es eine hydro-dynamische Vortriebskraft F_{lift} , das Blatt wirkt also wie eine Tragfläche (RBN 2007/12). Die hydrodynamische Vortriebskraft F_{lift} ist in ihrer Richtung immer orthogonal zum Blattgeschwindigkeitsvektor V_{bl} , demnach verbraucht diese Kraft niemals irgendwelche Leistung und hat 100% Effizienz. Sämtliche Energieverluste hängen von der Widerstandskraft F_{drag} ab, die in entgegengesetzter Richtung zu V_{bl} wirken. F_{lift} und F_{drag} sind Komponenten der gesamten Blattreaktionskraft F_{react} , die die selbe Größe und entgegengesetzte Richtung der Blattreaktionskraft F_{bl} hat. F_{react} wird durch den Ruderschaft zum Dollenstift geleitet und in die Vortriebskraft F_{prop} , die das gesamte System vorwärts treibt, und Seitenkraft F_{side} zerlegt werden. Diese erzeugt keinerlei Energieverluste, weil sie im rechten Winkel zur Bootsgeschwindigkeit verläuft. Es ist wichtig zu verstehen, daß jeglicher Blattschlupf im Wasser Energieverluste nach sich zieht, egal in welche Richtung, selbst im Durchzug, wenn sich das Blatt zusammen mit dem Boot vorwärts bewegt.



Über den ganzen Durchzug gemittelt, steuert die hydrodynamische Vortriebskraft F_{lift} etwa 56% der gesamten Blattkraft bei (Fig.5) und F_{drag} trägt die restlichen 44% bei. Die gesamte Strecke des Schlupfs der

Blattmitte entlang der Blattkurve betrug 1.7m, die gesamte Blatteffizienz betrug 78.5%.

Eine Gleichung, die die Blatteffizienz definiert, ist recht komplex (RBN 2012/06) und schließt die Blattgeschwindigkeit V_{bl} , Kraft F_{bl} und Angriffswinkel des Blattes (angle of attack) Aa ebenso mit ein wie die Dichte des Wassers ρ , die Blattfläche S und den kombinierten Widerstandsfaktor (drag factor) des Blattes k (der von der Blattform und dem Angriffswinkel (angle of attack) abhängt):

$$E_{bl} = 1 - \sin(Aa) / (k \rho S)^{0.5} F_{bl}^{0.5} / V_{bl} \quad (3)$$

Diese Gleichung kann zur Definition der folgenden Faktoren, die die vorwärtstreibende Blatteffizienz beeinflussen, nützlich sein:

1. Die Blatteffizienz ist größer, wenn der Angriffswinkel spitzer ist ($\sin Aa$ ist niedriger), was am Beginn und am Ende des Durchzuges der Fall ist.
2. Die Blatteffizienz ist höher, wenn sich irgendeiner der Multiplikatoren k , ρ oder S vergrößert: die Blattform ist effizienter ($k \uparrow$), und/oder die Wasserdichte ist höher ($\rho \uparrow$), und/oder die Blattfläche ist größer ($A \uparrow$).
3. Die Blatteffizienz ist höher, wenn die Blattkraft F_{bl} geringer ist, was am Beginn und am Ende des Durchzuges der Fall ist, und (in Kombination mit den spitzeren Angriffswinkeln) den Anstieg der Effizienzkurve erklärt. Bei gleicher Griffkraft ist die Blattkraft bei kürzerem Innenhebel und/oder längerem Außenhebel geringer. Somit ist die Blatteffizienz bei härteren Hebel- und damit Druckverhältnissen höher. Wenn die Blattkraft F_{bl} gegen null geht, erreicht seine Effizienz 100%, aber das Blatt erzeugt dann keinen Vortrieb mehr und wird nutzlos. Aus diesem Grunde haben stärkere Ruderer in einer Mannschaft normalerweise eine geringere Blatteffizienz und umgekehrt (mit einigen Ausnahmen, RBN 2018/08).
4. Die Blatteffizienz nimmt zu, wenn die Blattgeschwindigkeit V_{bl} größer wird, was bei höheren Bootsgeschwindigkeiten der Fall ist. Das erklärt, warum die Blatteffizienz in schnelleren / größeren Booten und in schnelleren Wetterbedingungen (Schiebewind) höher erscheint, obwohl der reale Schlupf im Wasser der selbe sein kann - das Blatt arbeitet nicht besser im Wasser.

Der letzte Punkt oben zeigt auch an, daß wahrscheinlich die Bestimmung der Blatteffizienz keine vollständig adäquate Meßmethode für die Qualität der Blattform ist, also haben wir versucht, andere Indikatoren zu finden und entwickelten das Konzept des Blatt Drag Faktor DF_{bl} (RBN 2018/05-07, Fig.5,d), welcher das Verhältnis von Blattkraft F_{bl} zum Quadrat seiner Schlupfgeschwindigkeit V_{bl} senkrecht dazu stellt ($DF_{bl} = F_{bl} / V_{bl}^2$). Der Blatt DF_{bl} hängt nicht von der Bootsgeschwindigkeit ab, ist aber sehr hoch am Beginn und Ende des Durchzuges, wenn die Blattschlupf-Geschwindigkeit sehr klein ist. Und das macht eine Analyse noch schwieriger. Wir fanden heraus, daß ein durchschnittlicher DF_{bl} (400+) mehr als 100 mal größer ist als der Boots Drag Faktor (~3 in 1x), und das ist es, was es ermöglicht, daß sich das Ruderer-Boot-System vorwärts bewegt.

Mit seinen durchschnittlich 80% Effizienz ist das Ruderblatt ein recht effektives Gerät zur Erzeugung von Vortrieb. Von den gesamten Energieverlusten beim Rudern, gehen weniger als 6% in den Blattschlupf und

der größte Anteil geht im Körper des Ruderers verloren. **Einige Faktoren haben einen gegenteiligen Effekt auf die Effizienzen von Ruderer und Blatt, und Versuche, das Eine zu verstärken, schwächen etwas Anderes wieder ab und verringern damit die Gesamteffizienz:** Zum Beispiel bewirken eine härtere Übersetzung von Innen- und Außenhebel sowie größere Blätter die Blatteffizienz, aber es macht die Griffgeschwindigkeit viel langsamer, was unter dem Strich für den Ruderer weniger effizient sein kann (RBN 2007/09), weil es die Durchzugszeit verlängert, die Schlagfrequenz und Ruderleistung verringert, und damit die Rudergeschwindigkeit langsamer wird. Ein größeres Blatt ist auch beim Fassen und im Endzug schwieriger zu handhaben, es kann auch einen größeren Windwiderstand beim Vorrollen erzeugen.

Andere Faktoren haben ähnliche Effekte auf die verschiedenen Komponenten der Effizienz: Weil die Blatteffizienz am Beginn und am Ende des Durchzuges höher ist, **macht es Sinn, die Kraft schneller direkt nach dem Fassen zu erhöhen und sie auch länger auf dem Level zum Endzug hin zu halten. Mit anderen Worten, die Kraftkurve sollte möglichst rechteckig aussehen.** Dies ist auch gut für die Erbringung der Gesamtleistung und für die effektive Dynamik des Rudersystems.

Schlußfolgerung: **Die vorwärtstreibende Blatteffizienz und der Drag Faktor können zur Beurteilung der Qualität des Materials und auch der Ruderfertigkeiten der Ruderer genutzt werden. Aber für die bestmögliche Ruderleistung müssen auch andere Komponenten des Systems berücksichtigt werden, um die optimale Balance zu finden.**