

Gesamtübersetzung des Ruders

Das Übersetzungsverhältnis (Innen- zu Außenhebel) ist ein populäres aber umstrittenes Thema in der Ruderergemeinde. Wie ist nun die mechanisch korrekte Definition des Übersetzungsverhältnisses im Rudern? Für jede mechanische Übertragung **ist die Übersetzung R_g das Verhältnis von Output zu Input bei Verschiebungen/Geschwindigkeiten (L_{out} zu L_{in})**, und es ist umgekehrt proportional zum Verhältnis der korrespondierenden Kräfte (F_{in} zu F_{out}), was mit dem Hebelgesetz von Archimedes bewiesen ist:

$$R_g = L_{out} / L_{in} = F_{in} / F_{out} \quad (1)$$

Somit gilt: Je mehr Geschwindigkeit man erreicht, desto mehr Kraft verliert man und umgekehrt. Ein **Zuwachs an Leistung ist wegen des Energieerhaltungssatzes nicht möglich**. Es ist wichtig im Gedächtnis zu behalten, daß **die Standard-Definition für die Übersetzung auf dem Verhältnis von Verschiebungen oder Geschwindigkeiten basiert, und nicht auf Kräften**, weil Kräfte von anderen Faktoren, wie Reibung und Trägheit von Teilen des Gesamtmechanismus, abhängen. Kräfte sind auch schwer zu messen.

Beim Radfahren wird das Übersetzungsverhältnis als die Fortbewegung des Fahrrades pro Kurbelumdrehung definiert, und hängt vom Verhältnis der Anzahl Zähne auf dem vorderen Zahnrad zum Zahnkranz am Hinterrad und der Größe des Hinterrades ab: z.B. mit 52/13 Zähnen am Zahnrad/Zahnkranz und einem 26" Hinterrad würde das Fahrrad 8,29m pro Kurbelumdrehung zurücklegen oder 36,2 km/h bei 80 Umdrehungen pro Minute. Um biomechanisch korrekt zu bleiben, muß auch die Länge der Kurbeln mit einbezogen werden: mit längeren Kurbeln würde die Pedalbewegung pro Umdrehung länger werden und umgekehrt. Mit 175mm langen Kurbeln bewegt sich die Pedale um 1,10m pro Umdrehung, somit wäre die Gesamtübersetzung des Fahrrades im obigen Beispiel 7.55:1, was bedeutet, daß sich das Fahrrad für jeden Meter Pedalbewegung um 7,55m bewegen würde.

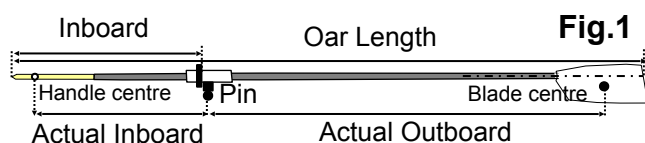


Fig.1

Wie definieren wir normalerweise das Übersetzungsverhältnis im Rudern? Die meisten Ruderer nutzen die Gesamtlänge des Ruders (gemessen vom Griffende bis zum äußeren Ende des Blattes, Fig.1) und den Innenhebel (vom Griffende bis zur Außenseite des Klemmringes), dann berechnen sie den Außenhebel, indem sie die Innenhebellänge von

der Gesamtlänge abziehen, und dann das Übersetzungsverhältnis = Außenhebel/Innenhebel. Wie auch immer, diese Berechnung der Übersetzung ist aus folgenden Gründen nicht korrekt:

1. Die Griffkraft wird nicht am Griffende angebracht, sondern etwa in der Mitte des Griffes, somit sollte der tatsächliche Innenhebel von dem Punkt aus gemessen werden, etwa 6cm vom Griffende beim Skullen und etwa 15cm beim Riemenrudern.
2. Das Ruder dreht sich nicht um das Ende des Klemmringes, sondern um den Dollenstift, der sich in einiger Entfernung zum Klemmring befindet (normalerweise etwa 2cm), was dann zum tatsächlichen Innenhebel addiert und vom tatsächlichen Außenhebel abgezogen werden sollte.
3. Das Zentrum des Wasserdruckes am Blatt ist nicht am äußeren Ende lokalisiert, sondern es wird nahe an seinem Mittelpunkt angenommen, somit muß der effektive/tatsächliche Außenhebel von dem Punkt aus gemessen werden. Deshalb ist die statische Ruderübersetzung definiert als das Verhältnis vom tatsächlichen Außenhebel $L_{out.a}$ zum tatsächlichen Innenhebel $L_{in.a}$:

$$\text{Oar gearing} = L_{out.a} / L_{in.a} \quad (2)$$

Bei einem typischen Innenhebel von 88cm beim Skullen, einer Ruderlänge von 288cm und einer Blattlänge von 45cm ist die tatsächliche Ruderübersetzung 2,089. Wenn die Meßungenauigkeiten, wie sie oben geschildert sind, mit einbezogen werden, dann wäre das Verhältnis 2,273, was 8,8% höher ist.

Ein kürzerer Innenhebel und längerer Außenhebel/Gesamtlänge machen die Übersetzung härter und umgekehrt: bei 87/289 und der gleichen Blattlänge ist die tatsächliche Ruderübersetzung 2.139 (2.4% höher/härter als obiges Beispiel); bei 89/286 ist sie 2.029 (2.9% geringer/leichter). Da die effektive Übersetzung von der Blattlänge abhängt, muß auch sie mit einbezogen werden: z.B. mit dem kürzeren „Comp“ Blatt (37cm) von Concept2 beträgt die tatsächliche Übersetzung bei 88/288cm 2,137 oder 2,3%, und ist damit höher/härter als mit der Standard-Blattlänge von 45cm.

Die statische Ruderübersetzung definiert lediglich einen kleinen Teil einer sehr komplizierten Kette der Leistungsübertragung im Rudern. Um die Gesamtübersetzung eines Ruderfahrzeuges (Ruderer-Boot-System) ähnlich wie Autos oder Fahrräder zu definieren (als das Verhältnis von Fahrzeug-(Ruderer-Boot-System)-Geschwindigkeit zur Geschwindigkeit

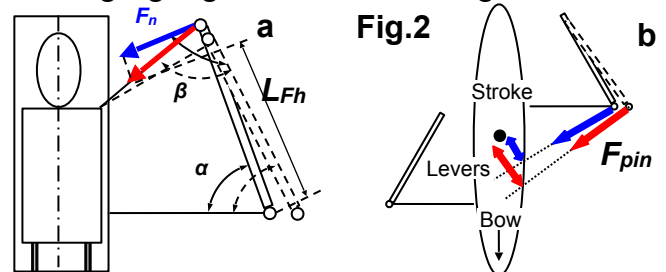
der Maschinen-Ruderer-Bewegung), müssen die folgenden Faktoren mit berücksichtigt werden:

1. Das Ruder ist während des Vorrollens von der Leistungübertragung durch das Wasser vom Wasser getrennt. Wenn ein Radfahrer aufhört zu radeln, wenn er einen Berg herunterfährt oder sich einfach weiterrollen läßt, dann würde sein Fahrrad eine weitere Strecke pro Kurbelumdrehung zurücklegen, als es durch die Übersetzung definiert ist. Dieser Faktor kann nach dem Zufallsprinzip variieren, somit ist in der realen Welt die Anzahl der Kurbelumdrehungen pro Kilometer immer anders. Beim Rudern ist die zurückgelegte Strecke durch die Trägheit während des Vorrollens ebenfalls zufällig, sie hängt von den Eigenheiten einer jeden Mannschaft (Rhythmus, Schlagfrequenz, angebrachte Kraft, etc.) und den Wetterbedingungen (Gegen- oder Schiebewind) ab. Deshalb würden die Distanz pro Ruderschlag oder das Verhältnis der Schlagfrequenz zur Rudergeschwindigkeit die Ruderübersetzung nicht korrekt definieren. Die Strecke, die während des Durchzuges zurückgelegt wird, würde für diesen Zweck dienlich sein, erfordert aber spezielle biomechanische Messungen.
2. Das Ruderblatt arbeitet im Wasser, welches eine Flüssigkeit ist und keine feste Verbindung zwischen dem Boot und der Umgebung bieten kann, im Gegensatz zu Autos und Fahrrädern (obwohl ihre Räder auch auf glatten Oberflächen rutschen können). Deshalb muß der Blattschlupf von der Output-(Blatt)-Geschwindigkeit abgezogen werden, was das Ruderfahrzeug dann relativ zum Wasser langsamer macht und damit die Übersetzung kleiner/leichter. Eine größere Blattfläche hat weniger Schlupf und macht die Übersetzung größer/härter, und umgekehrt. Der Schlupf reduziert die Blatteffizienz, weil ein Teil der Energie in die Wasserbewegung anstatt der Boots-bewegung aufgewendet wird: als wie jemand mit dem Fahrrad ständig mit seinen Rädern rutscht. Die Blatteffizienz reicht abhängig von Boots- und Blatttypen, Wetterbedingungen und Blattweg im Wasser von 70-90%, was die Übersetzung um 10-30% leichter macht.
3. Im Gegensatz zu den Rädern am Auto oder Fahrrad, die den Untergrund direkt rückwärts wegdrücken, ist die Blattbewegung durch das Wasser gekrümmt, sie ist nur dann rückwärts gerichtet, wenn sich das Ruder rechtwinklig zum Boot befindet. An allen anderen Punkten während des Durchzuges bewegt sich das Blatt in verschiedenen Winkeln relativ zur Boots-bewegung, was einen „Keil-Effekt“ (RBN 06/2014) erzeugt: Die Vortriebskomponente der Kraft wird kleiner, aber die Blattgeschwindigkeit relativ zum Wasser wird größer, was eine härtere Übersetzung zum Ergebnis hat. Da die Ruderwinkel sich im Durchzug ständig ändern, ändert sich auch die Übersetzung, das wird die „dynamische Übersetzung“ (RBN 03/2007) genannt. Ähnliche Effekte können bei vielen Fortbewegungen beobachtet werden: Skaten/Ski-Langlauf, Schwimmen, Vogelflug, Segeln, etc. (RBN 12/2019). Je weiter das Ruder von der rechtwinkligen Position zum Boot entfernt ist, desto härter wird die Übersetzung: bei einem Winkel von 60° muß die statische Übersetzung mit zwei multipliziert werden,

bei 70° um drei. Das bedeutet, **daß die dynamische Übersetzung einen ähnlichen oder noch höheren Effekt hat als die statische Ruderübersetzung: jedes 1° mehr in der Auslage vergrößert das Übersetzungsverhältnis so viel wie 1cm längeren Außenhebel oder 0,5cm kürzeren Innenhebel.**

Rudern mit halber Rolle hat einen ähnlichen Effekt wie ein 15cm kürzerer Außenhebel und 12% leichtere Übersetzung, was die Ruderer normalerweise am Beginn eines Rennens nutzen, um das Boot schneller zu beschleunigen, und während des Endspurts, wenn sie müde sind. **Um die tatsächliche Übersetzung zu kennen, ist es wichtig, die Ruderwinkel zu kontrollieren**, was man ganz einfach mit unseren BioRow Angle Guides oder mit NK EmPower Dollen machen kann.

Viele Ruderer und Trainer definieren immer noch die Übersetzung als Dollenabstand, was vom mechanischen Gesichtspunkt aus vollkommen inkorrekt ist: Das Bewegen des Drehpunktes bewegt einfach das gesamte Ruder vom Boot weg oder zum Boot hin, sein Übersetzungsverhältnis ändert sich damit nicht. Wie auch immer, der Dollenabstand hat einen starken indirekten Effekt auf die Übersetzung, was die Ruderer wirklich fühlen. Und diese Überlegungen gibt es schon sehr lange.

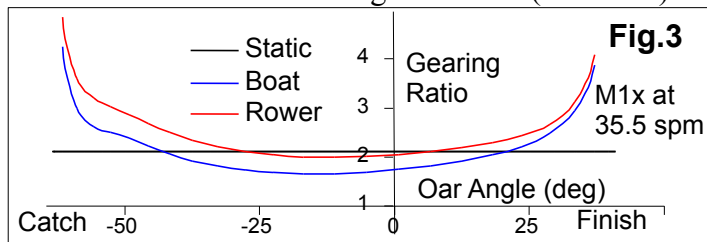


Erstens verändert der Dollenabstand die Geometrie der Verbindung von Ruder und Arm (Fig.2,a): **ein engerer Dollenabstand vergrößert den Ruderwinkel α , somit macht er die dynamische Übersetzung härter; und umgekehrt.** Er verändert auch den Winkel β zwischen dem Arm des Ruderers und dem Ruder: das Versetzen des Dollenstiftes nach innen macht ihn spitzer, was die normale Komponente der Griffkraft F_n und sein Drehmoment reduziert, somit **wirkt ein engerer Dollenabstand wie ein kürzerer Innenhebel und eine härtere Übersetzung; ein weiterer Dollenabstand wirkt auf diesem indirekten Weg wie eine leichtere Übersetzung.** Diese Effekte des Dollenabstandes wirken nur im Auslagewinkel und sie haben keine Auswirkung auf den Mittelzug.

Zweitens wirkt beim Riemenrudern, speziell im Riemenzweier, der Dollenabstand als Hebel für das Rotationsmoment des Bootes relativ zum

Bootsmittelpunkt (Fig.2,b). Ein größerer Dollenabstand versetzt die Linie der Dollenstiftkraft weg vom Bootsmittelpunkt, was den Hebel länger und das Drehmoment bei gleicher Kraft größer macht. Somit **hat ein Ruderer mit größerem Dollenabstand einen Vorteil beim Überziehen des Bootes, was sich als leichtere Übersetzung anfühlt.**

Beim Versuch, die Gesamt-Ruder-Übersetzung zu definieren gibt es beim Rudern einen weiteren Unterschied zu anderen Fahrzeugen, wo die Antriebsmaschine relativ zur Übertragung befestigt ist. Beim Rudern bewegt sich die Ruderermasse relativ zum Boot signifikant, somit ist seine Fortbewegung und durchschnittliche Geschwindigkeit während des Durchzuges von der Bootsgeschwindigkeit verschieden. Welche Geschwindigkeit sollen wir nun für das Ruder-„Fahrzeug“ nehmen? Das Boot oder den Ruderer/die Mannschaft? Den Systemschwerpunkt (CM)? Letzterer ist recht nahe an CM der Mannschaft, da die Mannschaft der schwerste Teil des Systems ist. Mit den biomechanischen Daten von Griff-, Boots- und Ruderer CM-Verschiebungen und Geschwindigkeiten können wir die augenblickliche Übersetzung (Fig.3) und seine durchschnittlichen Werte während des Durchzuges ableiten (Tabelle 1):



Fortbewegung des Griffes ins Verhältnis bringen, wäre die Gesamtübersetzung 5,48m pro Zyklus.

Verglichen mit dem Radfahren ist die Übersetzung beim Rudern im Durchzug recht ähnlich dem Radeln in einem niedrigen Gang, sagen wir 34/23 auf 26" Rädern, aber nur beim Treten einer halben Umdrehung und Leerlauf in der zweiten Hälfte der Umdrehung. Der Vergleich der Gesamtübersetzung über den Zyklus wäre ähnlich wie ein mittlerer Gang beim Radfahren, sagen wir 53/19.

Vor Kurzem haben wir den **HDF** Indikator (Handle Drag Factor, RBN 2020/04-5) und seine Modifikation **ME** (Masse-Äquivalent) entwickelt, der die „Schwere (heaviness)“ im Rudern anzeigt. Er kann zur Beurteilung der Ruderübersetzung in verschiedenen Bedingungen, Bootsklassen und Bootseinstellungen genutzt werden.

©2020 Dr. Valery Kleshnev www.biorow.com

Tabelle 1	Durchzugs-Länge (m)	Durchzugs-Fortbewegung (m)	Übersetzung mit Schlupf	Übersetzung ohne Schlupf
Boot	1.53	3.69	2.41	2.79
Ruderer	1.53	4.24	2.77	3.14
System	1.53	4.16	2.72	3.09

Da sich der Ruderer während des Durchzuges schneller als das Boot bewegt und eine weitere Strecke zurücklegt, ist seine Übersetzung härter als die des Bootes. In Auslage und Endzug ist die Gesamtübersetzung signifikant härter als die statische (schwarze Linie, 2.089 in diesem Falle bei 88/288) wegen des Effektes der dynamischen Ruderübersetzung. Im Mittelzug ist die Gesamtübersetzung wegen des Blattschlupfes, der in diesem Falle 0,57m betrug, im Wasser leichter. Somit **wäre die Übersetzung ohne Blattschlupf um 15,5% schwerer für das Boot und 13,5% für den Ruderer.** Die Fortbewegung des Ruder-„Fahrzeuges“ betrug über den Schlagzyklus 8,38m (es ist dasselbe für Ruderer und Boot), und wenn wir es mit der