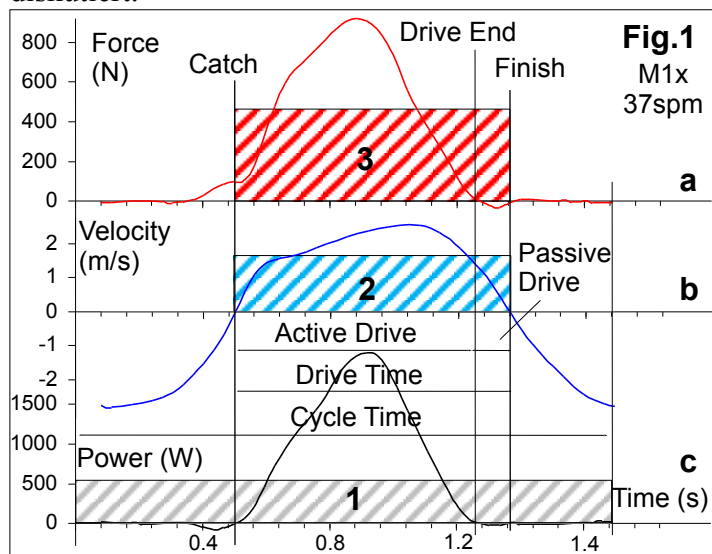


HDF Indikator im Detail

Der HDF Indikator der „Schwere“ beim Rudern wurde kürzlich im ganz allgemeinen Sinne untersucht (RBN 2020/01-02), und hier wird er noch detaillierter diskutiert.



Zuerst müssen wir die technischen Fragen zur Definition des HDF, der auf der Griffkraft, Geschwindigkeit und Ruderleistung basiert, klären (Fig.1). Die ursprüngliche Definition (lasst sie uns **HDF_P** nennen) war das Verhältnis der Ruderleistung über den Schlagzyklus P_c zur durchschnittlichen Griffgeschwindigkeit während des Durchzuges v_{av} hoch drei:

$$HDF_P = P_c / v_{av}^3 \quad (1)$$

Die Fläche unter der augenblicklichen Leistungskurve (Fig.1,c) repräsentiert die Arbeit pro Ruderschlag, somit ist die Ruderleistung gleich der Höhe P_c von Rechteck 1 mit der gleichen Fläche, verteilt über die Zeit des Schlagzyklus. Die Fläche unter der augenblicklichen Geschwindigkeitskurve (Fig.1,b) repräsentiert die Griffbewegung, somit ist die durchschnittliche Griffgeschwindigkeit gleich der Höhe v_{av} von Rechteck 2 mit der gleichen Fläche verteilt nur über die Durchzugszeit (weil die Gesamtbewegung des Griffes während des Schlagzyklus null ist). Hier ist die erste Diskrepanz: Die Leistung P_c wird über die gesamte Zykluszeit berechnet, die Geschwindigkeit v_{av} aber nur während der Durchzugszeit, somit würde der Ruderrhythmus (Verhältnis von Durchzugszeit zur Zeit des gesamten Schlagzyklus) den definierten **HDF_P** auf diesem Wege beeinflussen.

Die zweite Diskrepanz kann zwischen dem ursprünglich definierten **HDF_P** und seiner Definition durch die durchschnittliche Kraft **HDF_F** gefunden werden:

$$HDF_F = F_{av} / v_{av}^2 \quad (2)$$

Die Fläche unter der Kraftkurve (Fig.1,a) repräsentiert den Impuls, der vom Ruderer erzeugt wurde, somit ist die durchschnittliche Kraft gleich der Höhe F_{av} von Rechteck 3 mit der gleichen Fläche verteilt über die Durchzugszeit. Selbst wenn wir F_{av} über die Zykluszeit verteilen (sie mit dem Wert des Rhythmus multiplizieren), würde **HDF_F** nicht gleich **HDF_P** sein, und würde 15-20% niedrigere Werte haben.

Tabelle 1	Augenblickliche Werte					Durchschnitt
V	1	2	3	2	1	1.80
F	1	2	3	2	1	1.80
P	1	4	9	4	1	3.80
HDF_P	1.00	0.50	0.33	0.50	1.00	0.65
HDF_F	1.00	0.50	0.33	0.50	1.00	0.56

Tabelle 1 illustriert die Mathematik dahinter in einem sehr einfachen Modell: Augenblickliche Werte von **HDF_P** und **HDF_F** sind per definitionem gleich, aber ihre Werte, die aus der durchschnittlichen Kraft, Geschwindigkeit und Leistung berechnet wurden, sind nicht gleich. Das Problem kann gelöst werden, indem wir den augenblicklichen **HDF** ableiten und, und dann seinen Durchschnitt über die Durchzugszeit nehmen. Aber das ist nicht möglich, weil **HDF** beim Fassen und im Endzug, da wo die Geschwindigkeit null ist (Umkehrpunkte), nicht definiert ist, und seine Größen nahe an diesen Punkten, wenn die Geschwindigkeit niedrig ist, enorm hoch sind.

Wenn wir uns die Kraft- und Leistungserbringung näher anschauen, dann fallen sie zum Endzug hin unter null, aber der Griff setzt seine Bewegung mit positiver Geschwindigkeit bis zum Ende fort. Lasst uns die Dauer mit positiven Kraft- und Leistungswerten „Aktiven Durchzug“ und den Rest „Passiven Durchzug“ nennen. Normalerweise ist das Blatt während des passiven Durchzuges bereits aus dem Wasser heraus, und zu dieser Zeit ist es notwendig, den Durchzug zu beenden. Es wäre logisch, wenn der „Belastungs Faktor“ nur während des aktiven Durchzuges betrachtet wird, und HDF durch die korrespondierende Kraft, Geschwindigkeit und Leistung abgeleitet wird. Dies würde uns zwei weitere Definitionen geben: **AHDF_P** - aktiver HDF, abgeleitet durch die Leistung, und

AHDF_F – aktiver HDF, abgeleitet durch die Kraft.

Um einen Referenzpunkt zu finden und die bestmögliche Definition von HDF auszuwählen, wurde er als ein durchschnittlicher **HDF_{av}** von seinen augenblicklichen Werten während des Teils des Durchzuges, wo das Blatt im Wasser ist (vertikaler Ruderwinkel ist negativ), abgeleitet.

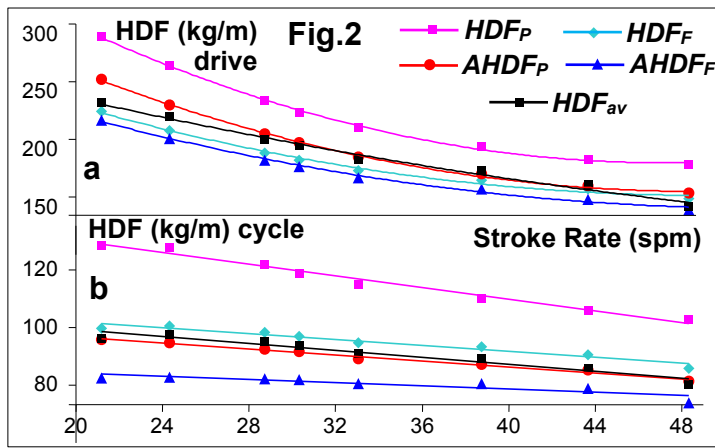
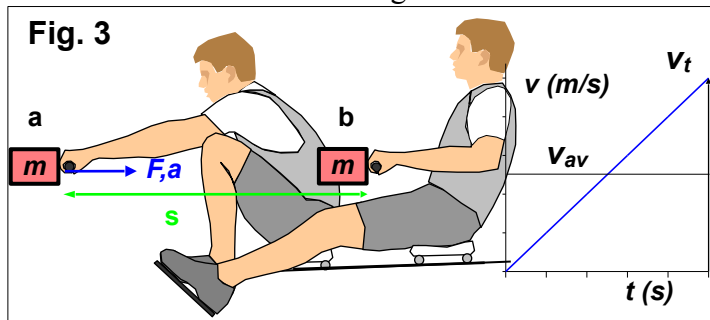


Fig. 2 zeigt alle fünf Definitionen für **HDF**, die oben nur für die Durchzugszeit abgeleitet wurden (a) und für die gesamte Zykluszeit (b). Die Daten sind vom selben 1x, die in RBN 02/2020 gezeigt wurden. Die Werte von **HDF** für den Durchzug (a) sind höher und viel abhängiger von der Schlagfrequenz: bei höheren Schlagfrequenzen verringern sie sich signifikanter. Das heißt, daß **sich der Durchzug bei niedrigeren Schlagfrequenzen schwerer anfühlt und leichter bei höheren Schlagfrequenzen, weil die Vorrollzeit signifikant kürzer wird und sich die Systemgeschwindigkeit am Beginn des Durchzuges weniger verringert.** Wenn HDF über die gesamte Zykluszeit verteilt wird, ist er von der Schlagfrequenz weniger abhängig, weil **der schwerere Durchzug bei ruhigen Frequenzen durch die längere Vorrollzeit ausgeglichen wird.**

Es sieht so aus, daß die Werte von **AHDF_P** und **HDF_F** am Dichtesten an **HDF_{av}**, der als Referenz genommen wurde, dran sind, somit können sie als die angemessensten Indikatoren für den „Belastungs Faktor“ beim Rudern empfohlen werden.

Jetzt werden wir die physikalische Interpretation von **HDF** diskutieren, die mit dem folgenden einfachen Modell illustriert werden kann (Fig.3). Stelle Dir vor, ein Ruderer zieht eine Masse **m** horizontal mit einer konstanten Kraft **F** bei idealen Bedingungen ohne Schwerkraft und Reibung.



In diesem Falle wäre die Beschleunigung **a** der Masse **m** auch konstant:

$$a = F / m \quad (3)$$

Wenn die Bewegung von einer stationären Position beginnen würde ($v_0=0$), würde nach einer Zeit **t**, die Masse **m** ihre Endgeschwindigkeit erreichen **v_t**

$$v_t = at \quad (4)$$

und würde dabei die Strecke **s** zurücklegen

$$s = 0.5 a t^2 = 0.5 v_t t \quad (5)$$

Da die Kraft und Beschleunigung konstant sind, würde die durchschnittliche Geschwindigkeit **v_{av}** über die Zeit **t** immer die Hälfte der Endgeschwindigkeit **v_t** betragen: **v_{av} = s / t = 0.5 v_t = 0.5 at = 0.5 F t / m**

(6)

Das Quadrat der Endgeschwindigkeit **v_t** kann auch durch die Beschleunigung **a** und Fortbewegung **s** ausgedrückt werden als:

$$v_t^2 = 2 a s = 4 v_{av}^2 \quad (7)$$

Wenn die Beschleunigung **a** durch **F/m** ersetzt wird, und 2 gestrichen wird, dann bekommen wir

$$F s / m = 2 v_{av}^2 \quad (8)$$

Schlußendlich, wenn wir die Definition von der Kraft in **HDF=F/v_{av}²** nutzen, können wir ihn definieren als:

$$HDF = 2 m / s \quad (9)$$

Dies ist die physikalische Interpretation: **HDF** setzt das zweifache Masse-Äquivalent **m**, geteilt durch die Strecke **s**, die sie zurücklegen würde, gleich, wenn da eine konstante Kraft auf die Masse unter idealen Bedingungen ohne Schwerkraft und Reibung einwirken würde. Die Gleichung 9 bestätigt die Dimension von **HDF** als kg/m, wie schon vorher angemerkt. Ein höherer **HDF** bedeutet eine größere zu beschleunigende Masse, oder kürzere Strecken der Bewegung, und umgekehrt. Das Masse-Äquivalent **m** kann bestimmt werden als:

$$m = 0.5 HDF s \quad (10)$$

und die Strecke **s** ist gleichgesetzt mit:

$$s = 2 m / HDF \quad (11)$$

Beachte, daß die Kraft **F**, die Geschwindigkeiten **v_t** und **v_{av}**, Zeit **t** und Beschleunigung **a** nicht in den Gleichungen 9-11 enthalten sind, was bedeutet, daß **der selbe HDF kann mit verschiedenen Kombinationen der aufgebrauchten Kraft F, seiner einwirkenden Zeit t und der resultierenden Beschleunigungen und Geschwindigkeiten, genauso wie bei verschiedenen Verhältnissen von Masseäquivalent m und seiner Strecke s, erreicht werden.**

Ganz allgemein wäre bei einem definierten **HDF**, Masse **m** und Strecke **s** die erforderliche Kraft **F**, um eine bestimmte „Durchzugszeit“ **t** zu erreichen:

$$F = HDF v_{av}^2 = HDF s^2 / t^2 = 2 m s / t^2 \quad (12)$$

Wenn die Durchzugszeit t bei einem bekannten HDF , Masse m , Strecke s und Kraft F gefunden werden muß, dann

$$t = s (HDF / F)^{0.5} = (2 m s / F)^{0.5} \quad (13)$$

Die obigen Gleichungen zeigen, daß die durchschnittliche Kraft umgekehrt proportional zum Quadrat der Durchzugszeit ist, was bedeutet, daß man eine viermal höhere Kraft braucht, um die Durchzugszeit zu halbieren, und umgekehrt.

Tabelle 2	1	2	3	4	5	6
HDF	200	200	200	200	200	200
s (m)	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.7
m (kg)	150	150	150	130	130	170
t (s)	1.0	0.5	0.8	1.0	0.8	1.0
a (m/s²)	3.0	12.0	4.7	2.6	4.1	3.4
F (N)	450	1800	703	338	528	578

Tabelle 2 illustriert die Gleichungen numerisch. Der gleiche $HDF = 200$, typisch für einen Einer (Fig.2,a), kann erreicht werden, wenn der Ruderer eine konstante Kraft von 450N auf eine 150kg Masse anwendet, die dann eine Strecke von 1,5m in 1s zurücklegt (Säule 1). Dies sind recht typische Zahlen für die durchschnittliche Kraft, Masse des Ruderer-Boot-Systems (mit der hinzugefügten Wassermasse), Schlaglänge und Durchzugszeit für Eliteruderer. Wenn die Ruderer die Durchzugszeit auf 0,5s verringern wollen (bei denselben Bedingungen), dann müssen sie die Kraft auf 1800N erhöhen. Eine Durchzugszeit von 0,8s würde 703N erfordern (3). Das Verkürzen der Schlaglänge auf 1,3m bei derselben Durchzugszeit von 1s (4) würde ein kleineres Masse-Äquivalent von 130kg und kleinere angewandte Kraft von 338N bedeuten, etc.

Da die angewandte Kraft bei einer gegebenen Durchschnittsgeschwindigkeit direkt proportional zum HDF ist, **haben Ruderer, die in Mannschaftsbooten relativ höhere Kraft anwenden, einen höheren HDF, wenn sie versuchen, die gleiche Schlaglänge und Durchzugszeit mit den anderen Ruderern aufrechtzuerhalten.**

Um diese Schlußfolgerung zu überprüfen, wurden die relativen Indikatoren HDF_r in jedem gemessenen Mannschaftsboot abgeleitet:

$$HDF_r = HDF_i / HDF_{av} \quad (14)$$

wobei HDF_i ein individueller Indikator für jeden Ruderer ist, und HDF_{av} - ein durchschnittlicher HDF der Mannschaft in jeder Datenprobe ist. Auf diesem Wege hängt HDF_r nicht von der HDF Definition und den Ruderbedingungen ab, sondern nur von seinem Verhältnis zu jedem Ruderer in der Mannschaft. Ganz ähnlich wurden andere wichtige Indikatoren abgeleitet: relative Auslage-, Endzug- und Gesamtwinkel, relative Kraft und Leistung.

Es wurden sehr hohe Korrelationen zwischen HDF_r und der relativen durchschnittlichen Kraft und Leistung gefunden: in den Achtern war es $r=0.81$ ($n=14606$), in den Riemen- und Doppelvierern $r=0.82$ ($n=9321$), und in Riemen- und Doppelzweiern $r=0.77$

($n=12295$), was die obige Hypothese bestätigt. Auf den ersten Blick ist es eine recht triviale und intuitive Schlußfolgerung: **Ruderer, die in einer Mannschaft „härter ziehen“, sollten immer das Gefühl haben, daß sich das rudern „schwerer“ anfühlt, aber HDF stellt eine adäquate Anzeige für diese Tatsache bereit, und sie ist gut als Beweis für die Gültigkeit dieses Faktors.**

Es ist interessant, daß die Schlaglänge praktisch keinen Effekt auf den relativen HDF_r hat und ihre Korrelation war nahe null.

HDF kann potentiell ein sehr informativer Indikator sein und eine wichtige Rolle bei der Beurteilung der Rudertechnik, Bootseinstellungen und externen Ruderbedingungen spielen.

©2020 Dr. Valery Kleshnev www.biorow.com