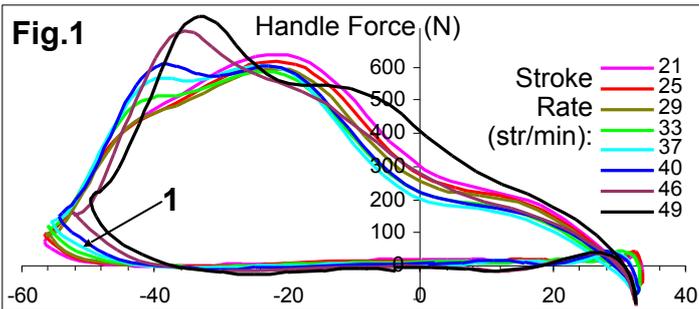


Trägheitskräfte am Ruder

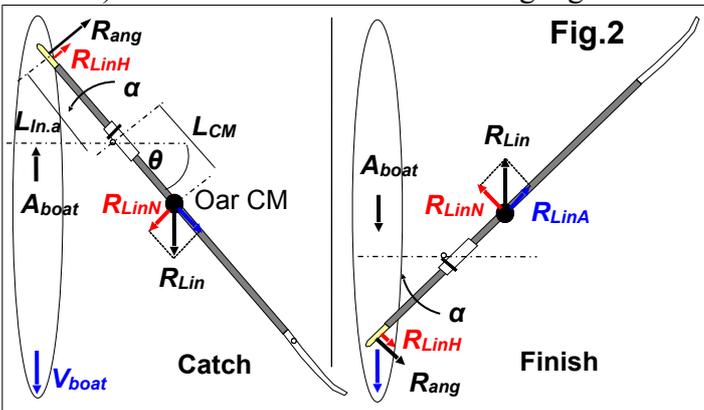
Das Ruder ändert seine Bewegungsrichtung recht rapide in der Auslage und im Endzug, was bedeutet, es bewegt sich mit einer Winkelbeschleunigung und erzeugt damit Trägheitskräfte. In Fig.1 (die Daten kommen von einem LM4- Ruderer), kann man ganz klar erkennen, daß die Griffkraft am Ende der Vorrollphase vor dem Fassen zunimmt (1). Je höher die Schlagfrequenz, desto höher die Beschleunigung und Trägheitskraft: bei 21spm betrug das Maximum der Winkelbeschleunigung beim Fassen 8 rad/s² und die Trägheitsgriffkraft war 51N, während bei Schlagfrequenz 49 es 28 rad/s² und 188N waren – mehr als dreimal höher.



Die Rotationsträgheitskraft R_{ang} am Griff kann berechnet werden als das Verhältnis von seinem Drehmoment M und tatsächlichem Innenhebel $L_{in.a}$:

$$R_{ang} = M / L = I \alpha / L_{in.a} \quad (1)$$

Wobei I das Moment der Trägheit des Ruders ist (3.2kgm für ein Standard Skull und 6.6kgm für einen Riemen) und α ist die Winkelbeschleunigung.



Außerdem hat die Trägheit des Ruders auch eine lineare Komponente: Beim Fassen bewegt sich das Boot mit negativer Beschleunigung, somit drückt der Dollenstift das Ruder rückwärts, aber der Schwerpunkt des Ruders ist nach außen versetzt (Fig.2). Dies erzeugt eine lineare Trägheitskraft R_{Lin} , die auf den Schwerpunkt des Ruders vorwärtsgerichtet einwirkt. Diese kann in zwei Komponenten zerlegt werden: die axiale R_{LinA} zieht das Ruder nach außen und wird an der Dolle aufgefangen; die normale Komponente R_{LinN} wird zum Griff umgeleitet als R_{LinH} , wo es abgeleitet werden kann als:

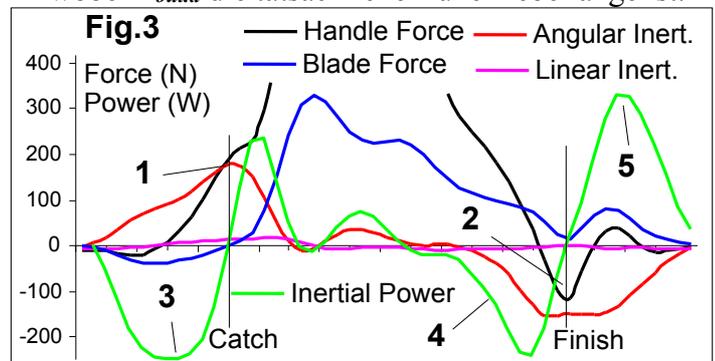
$$R_{LinH} = m a_{boat} \cos(\theta) (L_{CM} / L_{in.a}) \quad (2)$$

wobei m die Masse des Ruders ist (1.5kg für ein normales Skull, 2.5kg – für einen Riemen), a_{boat} - Bootsbeschleunigung, θ - Ruderwinkel, L_{CM} - Entfernung von Dollenstift zum Schwerpunkt des Ruders (normalerweise 0.55m für ein Skull und 0.60m für einen Riemen).

Fig.3 veranschaulicht die gemessene Griffkraft (im LM4- bei 49spm) zusammen mit den Trägheitskräften, die mit Gleichung 1 und 2 berechnet wurden. Die Blattkraft F_{bl} wurde als Differenz zwischen gemessener Kraft F_h und berechneter Trägheitskraft abgeleitet, geteilt durch das Übersetzungsverhältnis von Innen- und Außenhebel:

$$F_{bl} = (F_h - R_{ang} - R_{LinH}) / (L_{in.a} / L_{out.a}) \quad (3)$$

wobei $L_{out.a}$ die tatsächliche Außenhebellänge ist.



Die gemessenen und berechneten Variablen passen sehr gut zueinander: beim Fassen (1) betrug die gemessene Griffkraft 188N, die Winkelträgheit war 177N und die lineare - 13N; d.h. die gemessene Kraft war lediglich 2N (1%) niedriger als die Summe der Trägheitskräfte, die mit aerodynamischem Widerstand am Blatt, welches dem Ruder in der Auslage bei der Bewegungsumkehr hilft, erklärt werden kann. **Die Winkelträgheit trägt zu 93% der Gesamtkraft bei, und die anderen 7% hängen mit der linearen Trägheit zusammen.**

Beim Skullen kann die Summe der Trägheitskräfte bei zwei Skulls entsprechend höher sein: bei maximaler Schlagfrequenz 49spm wurden 250N für die Winkelkomponente gefunden (wegen der höheren Winkelbeschleunigung von 34 rad/s²) und 25N für die lineare Komponente.

Im Endzug ist die Situation entgegengesetzt: die Trägheitskraft zieht den Griff vorwärts, damit muß der Ruderer den Griff zurückdrücken, um die Richtung zu ändern. Dies erzeugt einen negativen Peak in der Kraftkurve (2), aber das bremst das Boot nicht ab, weil das Blatt zu diesem Zeitpunkt bereits aus dem Wasser raus ist. Die Winkelbeschleunigung ist im Endzug leicht geringer als in der Auslage (bis zu 24 rad/s² sowohl beim Skullen als auch beim Riemenrudern), so sind auch die Trägheitskräfte geringer (155N beim Riemenrudern und 180N beim Skullen). Die Bootsbeschleunigung ist im Endzug normalerweise dicht an null, somit ist die lineare Komponente der Trägheit des Ruders sehr klein.

Die Trägheitsleistung (Fig.3) hat negative Peaks bis zu -250W vor dem Fassen und dem Endzug, wenn die Trägheitskraft und Griffgeschwindigkeit entgegengesetzt gerichtet sind (Leistung ist ihr Produkt, und positive Peaks bis zu 330W - nach dem Fassen und dem Endzug. Die durchschnittliche Trägheitsleistung ist über den Ruderschlag betrachtet null, aber der Ruderer muß die metabolische Energie sowieso aufwenden, weil die Muskeln nicht wie perfekte Gummibänder arbeiten. **Die negative Trägheitsleistung vor dem Fassen (3) kann Arme und Schultern vorspannen, was dann dabei hilft, eine stärkere Körperhaltung zu erlangen, und dann teilweise diese Energie wieder dem Durchzug zuzuführen mithilfe der elastischen Elemente in Muskeln und Bändern.** Vor dem Endzug (4) kann ein Teil der Trägheitsleistung auf den Vortrieb angewandt werden, wenn das Blatt noch im Wasser ist. Nach dem Endzug ist es sinnvoll, daß man die Energie, die zur Beschleunigung des Ruders für das Vorrollen aufgebracht wird, minimiert (5): der Griff sollte geschmeidig ohne scharfes Rucken weggedrückt werden.