

Analyse von Gieren und Stampfen des Rennruderboots und deren Ansteuerung mittels akustischen online-Feedbacks im Wassertraining

(AZ 070803/16-17)

Mattes (Projektleitung), Nina Schaffert, Martin Reischmann & Stefanie Wolff

Universität Hamburg, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

1 Problem

Stampfen und Gieren werden durch die äußeren Bedingungen (Konstruktion des Bootes, Wind und Wellen) sowie die Rudertechnik beeinflusst (Loschner, Smith & Galloway, 2000; Formaggia, Mola, Parolini & Pischiutta, 2010). Beide Rotationsbewegungen können in Abhängigkeit von verwendetem Ruderboot und Trimmung sowie den gegebenen Umweltbedingungen durch die Kraftabgabe und Körperbewegung des Athleten bzw. der Athletin direkt beeinflusst werden. Obwohl der direkte Einfluss der Rotationsbootbewegung auf die Bootsgeschwindigkeit und damit unmittelbar auf das Leistungsergebnis im Rennrudern allgemein anerkannt ist, existiert bisher keine systematische Beschreibung von Gieren und Stampfen der Rennruderboote und deren Wirkung auf die Bootsgeschwindigkeit. Im Rahmen der aktuellen biomechanischen Leistungsdiagnostik kann eine wissenschaftliche Unterstützung nur sporadisch anhand von theoretischen Überlegungen, Beobachtungen der Bootsbewegung bzw. über Analogieschlüsse auf der Basis anderer Messparameter (Bootsgeschwindigkeit, Ruderkraft-Zeit-Verläufe) gegeben werden. Die Beeinflussung der Rotationsbewegungen wird wesentlich eingeschränkt, weil bisher kein geeignetes Mess- und Ansteuerungssystem für Kaderathletinnen und -athleten des Deutschen Ruderverbandes (DRV) existiert.

Dabei ist nicht klar, welche Merkmale von Gieren und Stampfen leistungsrelevant sind und wie diese Leistungsreserve im Training erschlossen werden kann. Es fehlt ein wissenschaftlich begründetes Konzept zur Erfassung und Ansteuerung der Bootsbewegungen und deren nachhaltige Veränderung im Wassertraining (Mattes, Schaffert, Manzer & Reischmann, 2018).

Im Untersuchungsteil 1 des Forschungsprojekts wurden die Beziehung zwischen Merkmalen der individuellen Rudertechnik und der Bootsbewegungen (Gieren und Stampfen) in Abhängigkeit von Schlagfrequenz (SF) und Stemmbreithöhe untersucht. Teil 2 des Forschungsprojekts beinhaltete die Entwicklung und Erprobung eines akustischen online-Feedbacks zur Ansteuerung der beiden Bootsbewegungen und dessen Wirkungsüberprüfung im Wassertraining in wenigen Trainingseinheiten (TE), um zu klären, in welcher zeitlichen Folge die Sonifikation im Training eingesetzt werden kann.

2 Methode

Die Felduntersuchungen erfolgten mit Ruderinnen und Ruderern des DRV und des Hamburger Landesruderverbands in der Unmittelbaren Wettkampfvorbereitung in Berlin sowie während des regulären Wassertrainings in Hamburg (Tab. 1 und 2).

Tab. 1: Untersuchungsstichproben Teil 1

Ruderart	Anzahl Athleten	Alter [J]	Körperhöhe [m]	Körpermasse [kg]
Skull Riemen	6 6	22,5 ± 4,2	183,9 ± 5,5	74,4 ± 8,5

Tab. 2: Untersuchungsstichproben Teil 2

Bootsklasse	Anzahl Athleten	Alter [J]	Körperhöhe [m]	Körpermasse [kg]
1x, 2-	5	21,6 ± 3,4	181,6 ± 8,4	76,4 ± 6,1
2-, 2x, 4x, 8+	17	17,1 ± 0,7	183,5 ± 8,3	77,3 ± 11,7

Die Felduntersuchung (Teil 1) erfolgte in einer TE über drei Teilmessfahrten bei normalen äußeren Bedingungen (max. 2 Beaufort und leichter Wellengang). Die Baseline wurde über 500 m mit der individuellen Bootstrimmung in der SF-Stufe $20 \pm 0,5$ Schläge/min bestimmt. Dieselbe Strecke wurde in entgegengesetzter Richtung mit unterschiedlicher Windrichtung absolviert. Die zweite Teilmessfahrt wurde mit unterschiedlichen Stemmbretteinstellungen (höher und tiefer als die individuelle Einstellung) in randomisierter Reihenfolge mit dem jeweils identischen Testprogramm über 500 m durchgeführt. Im dritten Teil wurde ein SF-Stufentest (20, 24, 28 und 32 Schl./min) über jeweils 15 Ruderzyklen durchgeführt. Zum Erreichen der jeweiligen SF-Stufe wurden die fünf ersten Ruderzyklen genutzt, erst die darauf folgenden zehn Ruderzyklen gingen in die Datenauswertung ein.

In der Felduntersuchung zur Überprüfung der Ansteuerungseffekte (Teil 2) wurde eine Baseline ohne Sonifikation über 500 m in Gegen- und Schiebewind-Richtung aufgezeichnet. Anschließend hatten die Athleten die Möglichkeit, sich an die Vertonung der jeweiligen Bewegungsrichtung zu gewöhnen. Danach wurde über jeweils 500 m der Gier- und Stampfverlauf akustisch rückgemeldet ($SF-20 \pm 0,5$ Schläge/min). Für die Wirkungsüberprüfung wurden acht TES über zwei Wochen mit Sonifikation des Gier- (Woche 1) und des Stampfverlaufs (Woche 2) durchgeführt. Die Überprüfung erfolgte im Vergleich von Pre-, Post- und Behaltenstest. Zudem wurde die Wirkung der Sonifikation standardisiert erfragt.

Das mobile Messsystem (MMS 2012) registrierte den Ruderwinkel, die Innenhebelkraft getrennt für Back- und Steuerbord sowie den Rollsitzenweg. Das Mess- und Trainingsgerät Sofrow II zeichnete die Bootsbevewegung in Vortriebsrichtung (Geschwindigkeit und -beschleunigung) und die 3D-Rotationsbevewegung (Rollen, Gieren und Stampfen) mittels eines inertialen Messsystems auf und sonifizierte die jeweilige Bootsbevewegung mittels algorithmischer Transformation. Zur Auswertung wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung und den Faktoren: Schlagfrequenz, Windrichtung und Stemmbretthöhe gerechnet sowie für Teil 2 mit dem Faktor akustisches Feedback. Das partielle Eta-Quadrat mit der Klassifizierung nach Cohen (1988) wurde zur Einschätzung der Effektstärke verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Untersuchungsteil 1

3.1.1 Reproduzierbarkeit der Gier- und Stampfwinkelamplitude

Mit dem neuen Messsystem Sofrow II können die Gier- und Stampfwinkel sowie die Gier (GA)- und Stampfampplitude (SA) im Einer mit absoluter Reproduzierbarkeit bestimmt werden (Tab.3).

Tab. 3: Reproduzierbarkeit der GA und SA, Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient (ICC), 95%-Konfidenzintervall (CI), Standardfehler der Messung (SEM), Wiederholbarkeitskoeffizient (CR), $N = 12$.

Kennwert [Einheit]	Test 1	Test 2	ICC	95%-CI	SEM	CR
Gierwinkelamplitude [°]	0,79 ± 0,33	1,16 ± 0,42	0,878	0,51 – 0,97	0,15	0,29
Stampfamplitude [°]	0,93 ± 0,10	0,91 ± 0,10	0,926	0,74 – 0,98	0,028	0,056

3.1.2 Gieren

Der Gierwinkel über mehrere Ruderzyklen zeigte keinen sich zyklisch wiederholenden charakteristischen Verlauf. Demnach kann der einzelne Ruderschlag anhand des Gierwinkels nicht oder nur grob identifiziert werden. Die Windrichtung beeinflusste signifikant das Gieren des Bootes und die Symmetrie der rudertechnischen Kennwerte. Von Windrichtung I (seitlicher Schiebewind von Steuerbord) zu Windrichtung II (seitlicher Gegenwind von Backbord) erhöhte sich die GA um 0,48°. Mit Erhöhung der SF reduzierte sich die GA. Die SF veränderte zwar die rudertechnischen Kennwerte (Schlagweite, Innenhebelkraft und -geschwindigkeit) von Back- und Steuerbord, ohne aber die Asymmetrie signifikant zu beeinflussen.

3.1.3 Stampfen

Das Profil des Stampfwinkels zeigte einen zyklischen Verlauf, bei dem sich die Kurvencharakteristika über die Schlagfolge reproduzierten. Folglich kann der einzelne Ruderschlag anhand des Stampfwinkel-Zeitverlaufs gut identifiziert werden. Mit Vergrößerung der Stemmbretthöhe reduzierte sich die SA. Zudem beeinflusste die Stemmbretthöhe die Rudertechnik. Mit Zunahme der Stemmbretthöhe verringerten sich die Schlagweite, der Rollsitze, die Durchzugszeit, der Rücklagewinkel, die Innenhebel-

kraft und -geschwindigkeit im Mittelzug sowie die Innenhebelkraft im Endzug. Die Verringerung des Vorlagewinkels war dagegen knapp nicht signifikant. Die SF beeinflusste die SA (höchster Wert bei SF 20, abnehmender Wert bei SF 24 und SF 28, Wiederanstieg bei SF 32).

3.2 Untersuchungsteil 2

3.2.1 Ergebnisse zur Ansteuerung der Gier- und Stampfbewegung des Bootes

Der Einsatz von akustischem Feedback der Gier (aFGie) und Stampfbewegung (aFSta) zeigte bei Schiebewind jeweils einen signifikanten Haupteffekt mit hoher Effektstärke. Dabei lagen die Amplituden in allen Abschnitten mit Sonifikation bei beiden Bewegungsrichtungen über den Amplituden der Baseline (Tab. 4). Aufgrund der hohen Streuung konnte kein signifikanter Kontrast zwischen den einzelnen Abschnitten bei aFGie gefunden werden. Dagegen unterschieden sich die Abschnitte bei aFSta signifikant zur Baseline.

Bei Gegenwind wurde kein statistischer Haupteffekt gefunden. Die Unterschiede zwischen den Abschnitten bei aFGie waren im Vergleich zur Baseline mit jeweils 0,02° geringer, lagen aber dennoch über den Amplituden der Baseline. Bei aFSta waren die SA identisch zu den Amplituden der Baseline (0,70°) (Tab. 5).

Tab. 4: Vergleich von Mittelwert und Standardabweichung der SF, Bootsgeschwindigkeit und -weg, sowie der SA und GA für die drei Messzeitpunkte bei Schiebewind; $N=5$

Etappe	S_F [Schl./min]	v_B [m/s]	s_B [m]	SA [°]	GA [°]
Baseline	20,3 ± 0,4	4,18 ± 0,21	12,34 ± 0,78	0,68 ± 0,05	0,63 ± 0,35
aFGie	20,3 ± 0,4	4,22 ± 0,22	12,48 ± 0,88	0,69 ± 0,05	0,65 ± 0,25
aFSta	20,4 ± 0,3	4,24 ± 0,21	12,33 ± 0,63	0,69 ± 0,04	0,69 ± 0,20

Tab. 5: Vergleich von Mittelwert und Standardabweichung der SF, Bootsgeschwindigkeit und -weg, sowie der SA und GA für die drei Messzeitpunkte bei Gegenwind; N = 5

Etappe	S_F [Schl./min]	v_B [m/s]	s_B [m]	SA [°]	GA [°]
Baseline	20,4 ± 0,5	4,04 ± 0,28	12,17 ± 1,01	0,70 ± 0,03	0,63 ± 0,23
aFGie	20,4 ± 0,4	4,15 ± 0,29	12,40 ± 1,12	0,69 ± 0,03	0,58 ± 0,16
aFSta	20,5 ± 0,3	4,18 ± 0,27	12,38 ± 1,01	0,70 ± 0,03	0,61 ± 0,27

3.2.2 Ergebnisse zur Wirkungsüberprüfung

Insgesamt zeigen die Ergebnisse individuelle Unterschiede zwischen den drei Booten. Daher erfolgt die Darstellung der Effektüberprüfung exemplarisch anhand eines Riemenzweiers.

In beiden TEs mit akustischem Feedback der Gierbewegung (TE 2 und 4) zeigten die ersten beiden Abschnitte (aFGie und nAF) höhere GW-Amplituden, in den folgenden beiden Abschnitten (aFGie und nAF) dagegen geringere GW-Amplituden als die Baseline. Die Ausprägung war dabei in der zweiten TE mit Sonifikation (TE 4) größer als in der ersten TE (Abb. 1 links). Ein eindeutigeres Bild zeigte sich in den beiden TEs mit aFSta (TE 6 und 8). Hier waren die SA in den Abschnitten mit Sonifikation gleich und kleiner als die Amplituden der Baseline. Im ersten Abschnitt ohne (nAF) zeigten die SA dagegen höhere, im zweiten und letzten Abschnitt ohne dagegen geringere Werte als die Baseline. Der jeweils letzte Abschnitt ohne war gleichzeitig auch der mit der insgesamt geringsten SA (Abb. 1 rechts).

Die Ergebnisse zur Überprüfung der Effekte im Vergleich Pre-, Post- und Behaltenstest zeigten einen signifikanten Haupteffekt jeweils für GA und SA. Im Einzelnen lagen die GA beim Post- und Behaltenstest mit $-0,24^\circ$ und $-0,15^\circ$ unter denen des Pretestes. Dagegen lagen die SA im Post- und Behaltenstest mit $0,05^\circ$ und $0,01^\circ$ geringfügig über den Amplituden des Pretestes.

3.2.3 Ergebnisse zur Befragung

Die Ergebnisse der Athletenbefragung zeigen, dass die veränderte Bootsbeugung im Klang erkennbar und dadurch von den Athletinnen und Athleten detaillierter wahrgenommen wird. Die facettenreichen Aussagen der Athletinnen und Athleten weisen dabei auf vielfältige Ansteuerungsmöglichkeiten hin. Zudem steigert die Sonifikation die Aufmerksamkeit der Athletinnen und Athleten („Der Ton verleitet einen zur Konzentration“) und ermöglicht die Konzentration auf die Ausführung der Rudertechnik („Feingefühl beim Vorführen und wenn Wind ins Boot kommt“), die dadurch bewusst wird und so zur Verbesserung der Bewegungs-

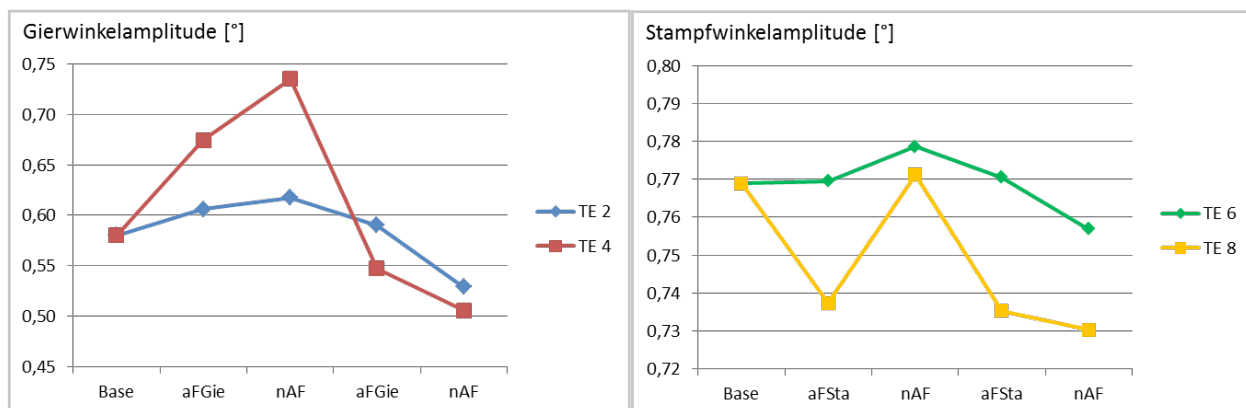


Abb. 1: Verlauf der GA (links) und SA (rechts) zu den fünf Messzeitpunkten in TE 2 und 4 (1. Woche) mit aFGie und in TE 6 und 8 (2. Woche) mit aFSta am Beispiel des Riemenzweiers.

vorstellung beiträgt. Auch lieferte die Athletenbefragung Hinweise für eine zukünftige Klanggestaltung.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Das neue Messsystem Sofirow II ist geeignet, Gruppen- sowie inter- und intraindividuelle Unterschiede der Gierbewegung des Bootes unter verschiedenen Bedingungen (Windrichtung und Windstärke, Streckendistanzen und Schlagfrequenzen) sowie der Stampfbewegung (Stemmbretthöhe und Schlagfrequenzen) abzubilden. Zudem können die Bootsbewegungsrichtungen akustisch differenziert dargestellt werden.

Für die Leistungsdiagnostik eignen sich das Gierprofil über mehrere Ruderzyklen, um die Dimension der Gierens und Art der Kurskorrekturen zu erheben. Da sich der intrazyklische Verlauf des Stampfwinkels im Einer typisch reproduziert, sind mittlere Kurven über definierte Etappen geeignet, um die Charakteristik der Stampfbewegung des jeweiligen Bootes bzw. der Crew beschreiben und bewerten zu können.

Die GA und SA sind aktuell die wichtigsten Kennwerte zur Quantifizierung. Bei der Interpretation der GA ist deren Abhängigkeit von der SF und den Wetter- und Windbedingungen zu berücksichtigen; bei der SA deren Abhängigkeit von der SF, Bootsklasse, Stemmbretthöhe und Körpermasse.

Mit Erhöhung der Schlagfrequenz von SF 20, SF 24, SF 28 auf SF 32 reduziert sich die GA im Einer. Mit höherer Bootsgeschwindigkeit wird die Kursstabilität des Bootes gesteigert. Die Kontrolle des Gierens im steuerruderlosen Skullboot sowohl bei Windstille als auch bei seitlichem Gegen- oder Schiebewind stellt eine rudertechnische Anforderung dar, deren Bewältigung das Leistungsergebnis erheblich beeinflussen kann.

Die SA kann als ein Optimierungskriterium für die Einstellung der Stemmbretthöhe verwendet werden. Für den einzelnen Athleten bzw. die einzelne Athletin muss eine optimale Stemmbretthöhe gefunden werden, um einerseits die Innenhebelleistung zu maximieren und andererseits die Stampfbewegung zu minimieren. Da

die Stampfbewegung den Wasserwiderstand erhöht, ist eine Minimierung der Stampfbewegung im Training und Wettkampf anzustreben, um die mittlere Bootsgeschwindigkeit als Zielgröße der Ruderbewegung zu maximieren. Dabei bieten sich in allen Geschwindigkeitsbereichen eine Reduzierung der Schlagfrequenz und/oder der horizontalen und vertikalen Massenverschiebung an, da diese sich unmittelbar auf die Stampfbewegung auswirken.

Die Sonifikation der Rotationsbewegungen stellt eine neue und neben der Sonifikation der Bootsbeschleunigung vergleichsweise noch ungewohnte Form des akustischen Feedbacks dar. Mit Zuschalten der akustischen Rückmeldung, gleich welcher Bewegungsrichtung des Bootes, finden sich Effekte auf die Rotationsbewegungen des Bootes Gieren und Stampfen. Damit konnte eine Wirkung der Sonifikation auf die Bootsbewegung gezeigt und die Annahme bestätigt werden, dass sich innerhalb kurzer Zeit (wenige Anzahl an TEs) durch den Einsatz der Sonifikation im Training von Athletinnen und Athleten des DRV in allen Kaderbereichen Ansteuerungseffekte auf die Bootsbewegung finden.

Dennoch zeigen die Ergebnisse ein uneinheitliches Bild. Trotz der umfangreich durchgeführten Messungen konnte die Frage nach der Wirkung der Sonifikation auf Gieren und Stampfen im Einzelnen (welches Bewegungsdetail in welcher Rotationsbewegung wie am besten angesteuert wird) nicht abschließend und einheitlich geklärt werden. Die Rotationsbewegungen des Bootes scheinen für die die Athletinnen und Athleten komplexer und schwerer verständlich zu sein als die Beschleunigung, die sich über den dosiert ausgeführten Freilauf gezielt ansteuern lässt (Mattes & Schaffert, 2014; 2015).

Die Ergebnisse der Athletenbefragung unterstreichen, dass die Veränderung in der Boots-bewegung von den Athletinnen und Athleten wahrgenommen und dadurch eine gezielte Ansteuerung der jeweiligen Boots-bewegungsrichtung ermöglicht wird. Die Möglichkeiten zur Ansteuerung der beiden neuen Bewegungsrichtungen des Bootes sind hier noch nicht ausgeschöpft. Für den zukünftigen Einsatz in der Praxis sollten neben der Sonifikation der Bootsbeschleunigung auch die Rotationsbewegungen

des Bootes regelmäßig im Training eingesetzt werden, um die Athletinnen und Athleten an die neuen akustisch rückgemeldeten Parameter zu gewöhnen. Zudem sollte der Einsatz dosiert erfolgen und jeweils nur eine Bewegungsrichtung für eine bestimmte Zeit (über 2 oder 3 Wochen) rückgemeldet werden.

5 Literatur

- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for behavior sciences*. 2. Edition. Lawrence Erlbaum Assoc. Inc..
- Formaggia, L., Mola, A., Parolini, N., & Pischiutta, M. (2010). A three-dimensional model for the dynamics and hydrodynamics of rowing boats. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 224 (1), S. 51-61.
- Loschner, C., Smith, R., & Galloway, M. (2000). Intra-stroke boat orientation during single sculling. In *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1).
- Mattes, K. & Schaffert, N. (2014). Wirkungen akustischen online-Feedbacks zum Bootsbeschleunigungs-Zeit-Verlauf im Mannschaftsboot auf die individuelle Rudertechnik der Crewmitglieder. Abschlussbericht zum BISp-Projekt IIA1-070801/13.
- Mattes, K. & Schaffert, N. (2015). Wirkung der Sonifikation auf die Bootsgeschwindigkeit und Mannschaftssynchronisation im Rennrudern. *Leistungssport*, 45 (3), 46-51.
- Mattes, K., Schaffert, N., Manzer, S. & Reischmann, M. (2018). Analyse von Gieren und Stampfen des Rennruderboots und deren Ansteuerung mittels akustischen online-Feedbacks im Wassertraining“ Teilbericht I: Analyse von Gieren und Stampfen und deren Einflussgrößen im Renneiner. Abschlussbericht zum BISp-Projekt ZMVI4-07080316-17.