
Biomechanisch gestützte Empfehlungen zur Formierung von Bootsbesetzungen und Feedbacktraining im Rennboot (U 23 und Juniorennationalmannschaften 2010)

(AZ 071606/10)

Klaus Mattes (Projektleiter) & Nina Schaffert

Universität Hamburg, Abteilung Bewegungs- und Trainingswissenschaft

Problemstellung

Jährlich sind die leistungsstärksten deutschen Juniorenrunderer und -ruderinnen auszuwählen und auf die internationalen Wettkampfhöhepunkte vorzubereiten. Bei der Auswahl der Sportler bzw. Sportlerinnen und deren Sitzpositionierung im Rennboot werden neben Regattaergebnissen und leistungsphysiologischen Befunden insbesondere die individuelle ruderspezifische Leistungsfähigkeit unter den Bedingungen der Groß- und Mittelboote berücksichtigt. Die Formierung der neuen Bootsbesetzungen und deren rudertechnische Vorbereitung auf den internationalen Wettkampfhöhepunkt (Junioren- und U23 Weltmeisterschaften) verlangt die Optimierung von Ruderleistung und Rudertechnik sowie deren Feinstellung im Mannschaftsgefüge in vergleichsweise kurzer Zeit, um die international geforderte hohe Bootsgeschwindigkeit im Ruderrennen zu erreichen. Neben einer erfahrenen Trainerpersönlichkeit kann dieser Prozess durch biomechanisch gestütztes Feedbacktraining schnell und zielgerichtet gesteuert werden. Mit der biomechanischen Diagnostik und dem anschließenden Feedbacktraining werden folgende Aspekte verfolgt:

- Ranking und Empfehlungen zur Groß- und Mittelbootsformierung,
- Generierung von Trainingszielen zur Ansteuerung der Rudertechnik für den einzelnen Ruderer und die Bootsbesetzung,
- Wissenschaftliche Begleitung des Feedbacktrainings zur Sicherung von Ansteuerungseffekten beim Ruderer und bei der Bootsbesetzung.

Zur komplexen Diagnostik von Ruderleistung und -technik wurde das „Mobile Mess- und Trainingssystem 2010“ (MMS 2010) des Instituts FES (Mattes, 2010) und zum Feedback- oder Messplatztraining das Processor Coach System-3/Sportler (PCS-3/S) mit direkter Anzeige der Messgrößen beim Rudern im Rennboot verwendet (Mattes & Böhmert, 2002).

Insgesamt wurden 116 Messfahrten zur Selektion und während des Techniktrainings in der UWV wissenschaftlich betreut (84x KLD und 32x Feedback).

Das genaue Vorgehen wurde bereits im BISp-Jahrbuch 2010 beschrieben, so dass an dieser Stelle darauf verzichtet werden kann. Für das Trainingsjahr 2010 wurde die Implementierung neuer Stembrettkraftparameter getrennt für das linke und rechte als zusätzliches Ziel im Rahmen des Betreuungsprojekts verfolgt. Auf die dabei vorgenommene vergleichende Untersuchung der Stembrettkräfte im Durchzug wird im Weiteren eingegangen.

Mit dem Trainingsjahr 2010 beginnend wurden erstmals Scherkraftsensoren für die Kraftmessung am Stemmbrett eingesetzt, die durch das Institut FES entwickelt wurden. Die Messsensoren verfügen über folgende Vorteile:

- die Kraftmessung erfolgt getrennt für das rechte und linke Bein,
- die Gewichtsbelastung der Ruderboote ist durch die leichteren Sensoren reduziert,
- der Einbau erfordert deutlich weniger Zeit, da die Sensoren auf der Stemmbretthalterung befestigt werden und kein Austausch des Originalstemmbrettes mehr notwendig wird.

Nach einer ersten Pilotuntersuchung (Mattes, 2010) wurde in der vorliegenden Studie die unterschiedliche Kraftabgabe von Innen- und Außenbein im Riemenrudern weiterführend untersucht. Dabei wurde davon ausgegangen, dass aufgrund der Drehbewegung des Riemens und der tangentialen Kraffteinleitung am Innenhebel, die der Ruderer als Bewegungsaufgabe zu lösen hat, eine unterschiedliche Belastung von Innen- und Außenbein am Stemmbrett resultiert. Im Vorderzug werden dabei das Innenbein, aber im Mittel- und Endzug das Außenbein stärker belastet.

Methode

Für die vergleichende Untersuchung wurden die Messdaten der zwei Achter der männlichen Junioren der Selektionsuntersuchungen (CJ-Kader, N = 16, Körperhöhe = $1,92 \pm 0,05$ m, Körpermasse = $88,6 \pm 7,3$ kg) ausgewertet. Die Messungen fanden im 2- über ein 2000-m-Rennen bei der Kölner Ruderregatta am 4.7.2010 und im Achter über 1000-m-Rennen in Dortmund am 2010 statt. Die realisierten mittleren Schlagfrequenzen im Stufentest sowie 2000-m-Rennen sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1. *Übersicht über die realisierten Schlagfrequenzen im Stufentest bzw. 2000-m-Rennen*

Fahrt-Nr.	SF [1/min] jeweils zehn Ruderschläge				WK2000	
					SF [1/min]	Anzahl Ruderschläge
11100118	21,1	26,8	31,5	34,1	37,3	217
11100119	20,8	22,6	29,3	33,7	36,9	213

Bei beiden Messfahrten herrschten vergleichbare Wasser- und Wetterbedingungen (glattes Wasser, Wassertemperatur 20°C, Lufttemperatur 27°C, Windstille).

Die Merkmalsstichprobe erfasste als unabhängige Variablen die Kraftabgabe am Stemmbrett der Ruderer in verschiedenen Schlagfrequenzstufen und im Ruderrennen sowie als abhängige Variablen die Stemmbrettkräfte im Durchzug und die Teilphasen Vorder-, Mittel- und Endzug getrennt für das Innen- und Außenbein (FSIB, FSAB).

Eingesetzt wurde das Mobile Messsystem 2010 das sportlerspezifische Messwerte (Riemenkraft, Ruderwinkel, Rollsitzzweg und Stembrettkraft) und zusätzlich die Bootsbeschleunigung in Vortriebsrichtung aufzeichnet (Böhmer, 2009). Am Stembrett wurden die Druck- oder Zugkräfte in der Vortriebssebene getrennt für das rechte und linke Bein als Schubspannung mittels Dehnungsmessstreifen in neutraler Materialfaser gemessen. Die Messgenauigkeit betrug 5 % (Böhmer, 2009).

Zur statistischen Auswertung wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Bein (Innenbein versus Außenbein) und dem Zwischensubjektfaktor Schlagfrequenz (Schlagfrequenzstufen 20, 24, 28, 32 und 2000-m-Rennfrequenz) gerechnet.

Ergebnisse

Der Faktor Bein übte einen höchst signifikanten Haupteffekt mit großer Effektstärke auf die Stembrettkräfte im Durchzug sowie in den Subphasen Mittel- und Endzug aus (Tab. 2). Auch im Vorderzug wurde ein hoch signifikanter Unterschied ermittelt, der jedoch nur eine geringe Effektstärke aufwies (0,08). Eine signifikante Wechselwirkung von Bein * SF-Stufe mit nur geringer Effektstärke bestand nur im Endzug ($F = 3,6$; $p = 0,02$; partielles Eta-Quadrat = 0,14).

Tab. 2. *Einfluss des Faktors Bein (Innen- und Außenbein) und der Wechselwirkung Bein* SF-Stufe auf die Stembrettkräfte (FS) im Durchzug, F-Wert der Varianzanalyse, Junioren, N = 16*

Faktor	Kennwert	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Bein (IB versus AB)	F_{SD}	96,3	0,00	0,56
	F_{SVZ}	6,2	0,01	0,08
	F_{SMZ}	126,9	0,00	0,63
	F_{SEZ}	213	0,00	0,74

Die Prüfung des Zwischensubjekteffekts der Schlagfrequenz auf die Stembrettkräfte erbrachte nur einen signifikanten Unterschied auf die Stembrettkräfte im Endzug mit geringer Effektstärke ($F = 3,6$; $p = 0,01$; partielles Eta-Quadrat = 0,16).

Die paarweisen Vergleiche zeigten in allen Schlagfrequenzstufen im Durchzug insgesamt sowie im Mittel- und Endzug signifikant höhere Stembrettkräfte des Außenbeins. Dabei zeigte sich, dass über die Schlagfrequenzstufen hinweg im Durchzug das Innenbein ca. 44-45 % und das Außenbein ca. 55-56 % der Gesamtstembrettkraft erbringen (Tab. 3). Die Werte streuten mit 5-7 % stark. Weiter fallen die geringen Anteile des Innenbeins an der Gesamtstembrettkraft im Mittel- und Endzug sowie die großen Streuungen der Stembrettkraft in diesen beiden Schlagphasen auf.

Tab. 3. Vergleich der Stembrettkräfte (F_S) von Innen- (IB) und Außenbein (AB) im Durchzug (D), Vorderzug (VZ), Mittelzug (MZ) und Endzug (EZ), Junioren, $N = 16$

SF [1/min]	F_{SD} [N]	F_{SDIB} [%]	F_{SDAB} [%]	F_{SVZIB} [%]	F_{SVZAB} [%]	F_{SMZIB} [%]	F_{SMZAB} [%]	F_{SEZIB} [%]	F_{SEZAB} [%]
20	472±41	45±7	55±7	50±4	50±5	38±10	62±10	37±6	63±6
24	424±65	44±5	56±5	51±4	49±4	38±10	62±10	35±7	65±7
28	391±78	44±5	55±5	52±4	48±4	39±10	61±10	37±6	64±6
32	395±101	45±5	55±5	52±3	48±3	40±10	60±10	38±6	62±6
WK2000	499±109	45±6	55±6	50±4	50±4	41±11	59±11	36±17	64±17

Im Verlauf des Durchzuges änderte sich die Relation der Stembrettkräfte zueinander, wobei zunächst das Innenbein dominierte, danach überstiegen die Kräfte des Außenbeines die des Innenbeins. Der Schnittpunkt lag individuell abweichend bei unterschiedlichen Ruderwinkeln im Intervall zwischen 43-90° Ruderwinkeln.

Diskussion

Die Ergebnisse verifizierten die Ausgangsüberlegung, dass beim Riemenrudern zwischen Innen- und Außenbein eine unterschiedliche Belastung im Durchzug auftritt. Dieser Haupteffekt wies eine sehr hohe Effektstärke auf und wirkte unabhängig von der Schlagfrequenz und Wettkampfbelastung. Demnach arbeiten beim Riemenrudern das Innen- und Außenbein unterschiedlich. Mit Durchzugsbeginn und im Bereich des Vorderzuges dominieren die Stembrettkräfte des Innenbeins die des Außenbeins. Danach werden höhere Kräfte des Außenbeins im Mittel- und Endzug gemessen. Zudem ist ein steilerer Anstieg der Stembrettkraft des Innenbeins im Vergleich zum Außenbein im Vorderzug sowie eine früheres Kraftmaximum der Stembrettkraft des Innenbeins evident. Die Untersuchungsergebnisse decken sich mit den Befunden der Pilotstudie, die an Hamburger Kaderathleten in Kleinbooten (2-) durchgeführt wurden. Das unterschiedliche Kraftverhalten von Innen- und Außenbein wurde bereits von einigen Autoren beschrieben (Asami et al., 1978; Buchmann, 1978). Individuell unterschiedlich waren die Beträge der Differenzen zwischen Innen- und Außenbein sowie die Stembrettkraftverläufe, was auf eine individuelle Krafterzeugung im Wechselspiel von Innen- und Außenbein hinweist. Als eine erste Orientierung sollten die Stembrettkräfte des Innenbeins im Durchzug ca. 45 %, im Vorderzug ca. 55 % und im Mittel- und Endzug ca. 45 % der gesamten Stembrettkraft betragen.

Die getrennte Messung der Stembrettkräfte für das linke und rechte Bein sollte für das Riemenrudern in die Routinediagnostik übernommen werden, weil sich daraus weiterführende Informationen zur individuellen Rudertechnik und Krafterzeugung am Stembrett generieren lassen, die trainingsmethodisch relevant sind. Das sind

Aussagen zum Wechselspiel von Innen- und Außenbein für die Gesamtbelastung im Durchzug, zur individuellen Gestaltung der vorderen Bewegungsumkehr und Druckaufnahme sowie innerhalb der Durchzugsphasen. In der Routinediagnostik sollten die Parameterverläufe (Kennlinien) sowie die Kennwerte der mittleren Stemmbrettkräfte für den Durchzug sowie Vorder-, Mittel- und Endzug absolut und in Prozent getrennt für das Innen- und Außenbein sowie der Ruderwinkel beim Schnittpunkt der Stemmbrettkräfte von Innen- und Außenbein dargestellt werden.

Literatur

- Asami, T., Adachi, N., Yamamoto, K., Ikuta, K. & Takahashi, K. (1978). *Biomechanical analysis of rowing skill*. Paper presented at the Biomechanics VI-B, Proceedings of the Sixth International Symposium on Biomechanics.
- Buchmann, R. (1978): *Theoretische und empirische Grundlagen der sporttechnischen Leistungsentwicklung im Rudern*. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Böhmert, W. (2009). *Projektbeschreibung Rudermesssystem des Instituts FES*. Projektbeschreibung für das BISp. Berlin: FES
- Mattes, K. & Böhmert, W. (2002). Feineinstellung der sportlichen Technik durch Messplatztraining. In *Messplatztraining*. 5. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft 19.-21.9. 2002, Leipzig.
- Mattes, K. (2001). *Komplexe Diagnostik von Ruderleistung und Rudertechnik im Rennboot mit dem Mobilen Messsystem 2000 - Leitfaden zur Anwendung sowie umfassenden Auswertung und Interpretation*. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Mattes, K. (2010). *Forschungsbericht zur Erprobung der neuen Stemmbrettkraftsensoren 2009*, Universität Hamburg.