

# Tangentiale Krafteinleitung im Innenhebel zur Steigerung der Vortriebswirkung im Riemenrudern

IIA1-070814/12

*Klaus Mattes & Nina Schaffert*

Universität Hamburg, Abteilung Bewegungs- und Trainingswissenschaft

## 1 Problemstellung

In Kooperation zwischen dem Institut Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) und der Universität Hamburg wird aktuell ein neues mobiles Forschungsmesssystem 2012-2016 aufgebaut und evaluiert, das sowohl in Skull- und Riemenbooten (Klein- und Mittelboote) genutzt werden kann und über ausreichend Messkanäle verfügt, um neue Messsensorik mit geringem zeitlichem Aufwand zur Beantwortung von Forschungsfragen einsetzen zu können (Böhmert, 2009). Mit Hilfe des Forschungsmesssystems sollen in den nächsten Jahren systematisch Vorlaufuntersuchungen zur Ruderleistung und -technik im Rennboot vorgenommen werden, um neue trainingsmethodisch relevante Erkenntnisse zu generieren und diese nachfolgend in die Routinediagnostik des DRV zu überführen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden erstmals zusätzlich zu den bekannten Messgrößen auch Längskräfte am Riemen gemessen und ausgewertet. Dabei sollten die Dimensionen der Längskräfte und des Zugrichtungswinkels am Innenhebel sowie deren Zusammenhang zur Stemmbrettkraft messtechnisch beschrieben und erste Erfahrungen gesammelt werden, wie die Krafteinleitung am Innenhebel durch geeignete Maßnahmen beeinflusst werden kann. Das vorliegende Thema wurde in Abstimmung mit dem Institut FES als ein Forschungsschwerpunkt für die Jahre 2012-13 festgelegt. In der Studie sollen die Krafteinleitung und Zugkrafttrichtung am Innenhebel im Riemenrudern (4-) untersucht werden, um sowohl wissenschaftliche als auch trainingspraktische Grundlagen für die Steigerung der Wirksamkeit der Zugkräfte am Innenhebel, für die Reduktion der Reaktionskräfte am Stemmbrett und damit für die Erhöhung der Vortriebswirksamkeit zu legen.

## 2 Methode

Die Untersuchungen wurden mit einer ersten Teilstichprobe Hamburger Kaderathleten durchgeführt. Dabei wurden sieben Messfahrten im 4-, davon vier Fahrten mit Junioren A (offene Klasse) und drei Fahrten mit Senioren (U23, Leichtgewichtsruderer) durchgeführt. Insgesamt nahmen 18 Sportler (11 Senioren, 7 Junioren A) an den Messungen teil, die innerhalb von drei Tagen erfolgten, bei denen vergleichbare Wetter- und Wasserbedingungen vorlagen. Schwierigkeiten bei der neuen Längskraftmessung traten bei jeweils vier Senioren und einem Junioren auf. Diese Messungen gingen nicht in die Auswertung ein. Doppelt gefahren sind ein Senior und fünf Junioren. Daraus ergibt sich eine erste Teilstichprobe von jeweils sieben Senioren und Junioren A. Zur Vervollständigung der Messserie sollen im Frühsommer diesen Jahres weitere Messungen stattfinden.

Das Mobile Messsystem (MMS) wurde in den Vierer ohne (4-) eingebaut und alle Ruderinnen und Ruderer im selben Boot gemessen. Das MMS liefert die folgenden Messgrößen für die einzelne Ruderin bzw. den einzelnen Ruderer:

- › das Riemenbiegemoment (Biegefeder mit Dehnungsmessstreifen (DMS) am Innenhebel), Auflösung 0,25N (Lorms, 1998),

- › den Ruderwinkel (hoch auflösender Drahtpotentiometer (Magnetfeldsensor) auf dem Dollenstift und mit Gummifaden zum Innenhebel, Auflösung 0,1°,
- › den Rollsitzzug (Wegaufnehmer auf der Rollbahnschiene).

Im Vergleich zur normalen Komplexen Leistungsdiagnostik (KLD) werden als Erweiterung die Längskraft am Riemen über einen Messklemmring mit integriertem DMS und die dreidimensionalen Kräfte am Stemmbrett gemessen. Zur Anwendung kam ein standardisierter Schlagfrequenz (SF)-Stufentest, bei dem in vier SF-Stufen (20, 24, 28, 32 Schläge pro Minute) jeweils 20 Schläge gerudert wurden. Die Erprobung der Bewegungsanweisung erfolgte im Grundlagenausdauer Schlag, d. h. im Schlagfrequenzbereich 20 Schläge pro Minute.

Im experimentellen Teil wurden folgende Bewegungsanweisungen über jeweils zehn Ruderschläge vorgegeben:

1. Gewohntes, normales Rudern (10 Schläge), Baseline
2. Innenhebelzug nur mit dem Außenarm (10 Schläge)
3. Innenhebelzug nur mit dem Innenarm (10 Schläge)
4. Wechselspiel von Außen- und Innenarmzug; dominanter Einsatz des Außenarmes im Vorderzug wechselt auf dominanten Einsatz des Innenarmes im Mittel- und Endzug.

Die Aufgabe 4 wird zweimal ausgeführt (2\*10 Schläge). Zwischen den Bewegungsaufgaben wurde jeweils ein „Ruder halt“ eingelegt, um die Etappen eindeutig voneinander abzugrenzen.

Für die Parameterverläufe wurden die Kennlinien der einzelnen Ruderinnen und Ruderer als Mittelwertkurven über den Ruderwinkel für alle Ruderschläge einer Etappe und für drei repräsentative Ruderschläge über die Zeit dargestellt. Zur Beantwortung der einzelnen Fragen wurden verschiedene statistische Verfahren eingesetzt: eine Varianzanalyse (VA) mit dem Faktor Leistungsstufe, zwei VA mit Messwiederholungen (Innersubjektfaktor Schlagfrequenz und Bewegungsanweisung) sowie eine lineare Korrelationsanalyse zur Beschreibung der Beziehungen zwischen Normalkraft (FIH) und Längskraft am Innenhebel, Zugrichtungswinkel ( $\phi$ FIH) und Stemmbrettkraft (FS).

### 3 Ergebnisse

Mit der Messserie liegen erstmals verwertbare Ergebnisse zur Längskraft am Innenhebel vor, sodass der Zugrichtungswinkel sowie der Anteil der Tangentialkraft an der resultierenden Innenhebelkraft bestimmt werden konnten.

Die vorläufigen Ergebnisse aus dem noch kleinen Probandenpool zeigten, dass

- › sich der Zusammenhang zwischen der Krafteinleitung am Innenhebel und den Stemmbrettkräften bestätigt,
- › im Vorder- und abgeschwächt im Mittelzug beachtliche Längskräfte wirken,
- › die wirksame Krafteinleitung die Vortriebswirksamkeit steigert und den konditionellen Aufwand am Stemmbrett reduziert,
- › die Zugrichtung ein individuell stabiler Parameter ist und
- › die Längskräfte abhängig von der individuellen Schlagcharakteristik (Vorderzugbetonung) sind.

Dabei wurde die Bedeutung des tangentialen Ziehens in den Großbooten deutlich. Somit kann über Außenhandzug gezielt Einfluss auf die Längskraft und die Zugrichtung am Innenhebel genommen werden, weil die Außenhand geometrisch günstiger und am längeren Hebel zieht. Damit besteht eine Leistungsreserve.

Zwei Bewegungsvarianten, das Rudern nur mit der Außenhand (AAZ) sowie das Rudern nur mit der Innenhand (IAZ) wurden gegeneinander und mit dem „normalen“ Rudern mit beiden Händen (Baseline) verglichen. Der Haupteffekt „Bewegungsvariante“ war für alle untersuchten Kennwerte: Schlagfrequenz, Bootsgeschwindigkeit, Kräfte am Innenhebel und Stemmbrett signifikant mit durchweg großen Effektstärken (Tab. 1 und 2).

Tab. 1. Vergleich der Innenhebelkräfte der Bewegungsvarianten Baseline, Außenarmzug, Innenarmzug, Kennwerte zur Kraftabgabe und Zugrichtung am Innenhebel im Belastungsbereich der Grundlagendauer für die Teilstichprobe 1, N = 14

Etappe	S <sub>F</sub> [1/min]	V <sub>B</sub> [s]	F <sub>IHD</sub> [N]	F <sub>IHV</sub> [N]	F <sub>IHLV</sub> [N]	F <sub>IHV%</sub> [%]	ϕ <sub>EIHV</sub> [°]	F <sub>IHM</sub> [N]	F <sub>IHLM</sub> [N]	F <sub>IHM%</sub> [%]	ϕ <sub>EIHM</sub> [°]
Base-line	21,1±0,5	4,36±0,17	350±24	311±41	159±27	86,1±1,4	61,5±2,2	474±43	112±19	98,9±1	88,8±1,9
AAZ	18,9±1	3,45±0,18	243±22	251±30	116±22	89±1,4	65,1±2,1	297±42	74±19	98,5±1	86,9±3,6
IAZ	18,1±0,7	3,4±0,22	212±25	234±27	119±19	88,1±1,9	62,8±2,7	245±46	68±24	97,6±2	84,6±5,2
p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
pEta <sup>2</sup>	0,90	0,94	0,87	0,64	0,67	0,63	0,58	0,91	0,74	0,23	0,40
p <sub>1</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,06
P <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,03	0,00
P <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	-	-	-	0,00	0,00	-	-	0,07

Tab. 2. Vergleich der Stemmbrettkräfte der Bewegungsvarianten Baseline, Außenarmzug, Innenarmzug, Kennwerte zur Kraftabgabe und Zugrichtung am Innenhebel im Belastungsbereich der Grundlagendauer für die Teilstichprobe 1, N = 14

Etappe	F <sub>IHD</sub> [N]	F <sub>SD</sub> [N]	F <sub>SV</sub> [N]	F <sub>SIBV</sub> [N]	F <sub>SABV</sub> [N]	F <sub>SM</sub> [N]	F <sub>SIBM</sub> [N]	F <sub>SABM</sub> [N]
Baseline	350 ± 24	397 ± 79	438 ± 83	220 ± 76	218 ± 79	492 ± 129	145 ± 114	347 ± 112
AAZ	243 ± 22	220 ± 53	292 ± 70	74 ± 48	218 ± 62	227 ± 82	1 ± 81	228 ± 111
IAZ	212 ± 25	279 ± 56	372 ± 62	315 ± 82	57 ± 66	272 ± 94	197 ± 75	74 ± 66
p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
pEta <sup>2</sup>	0,87	0,89	0,73	0,73	0,81	0,92	0,59	0,86
p <sub>1</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
P <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
P <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Im Vergleich zur Baseline reduzierten sich bei beiden Bewegungsvarianten (AAZ und IAZ) höchst signifikant und mit durchweg großer Effektstärke

- › die Schlagfrequenz und Bootsgeschwindigkeit,
- › die mittleren Tangential- und Längskräfte am Innenhebel sowohl für den Vorder- als auch für den Mittelzug sowie
- › die mittleren Stembrettkräfte im Vorder- und Mittelzug.

Die beiden Bewegungsvarianten beeinflussten jedoch den Zugrichtungswinkel, den prozentualen Anteil der Tangentialkraft an der resultierenden Innenhebelkraft sowie die Stembrettkräfte unterschiedlich (Abb.1).

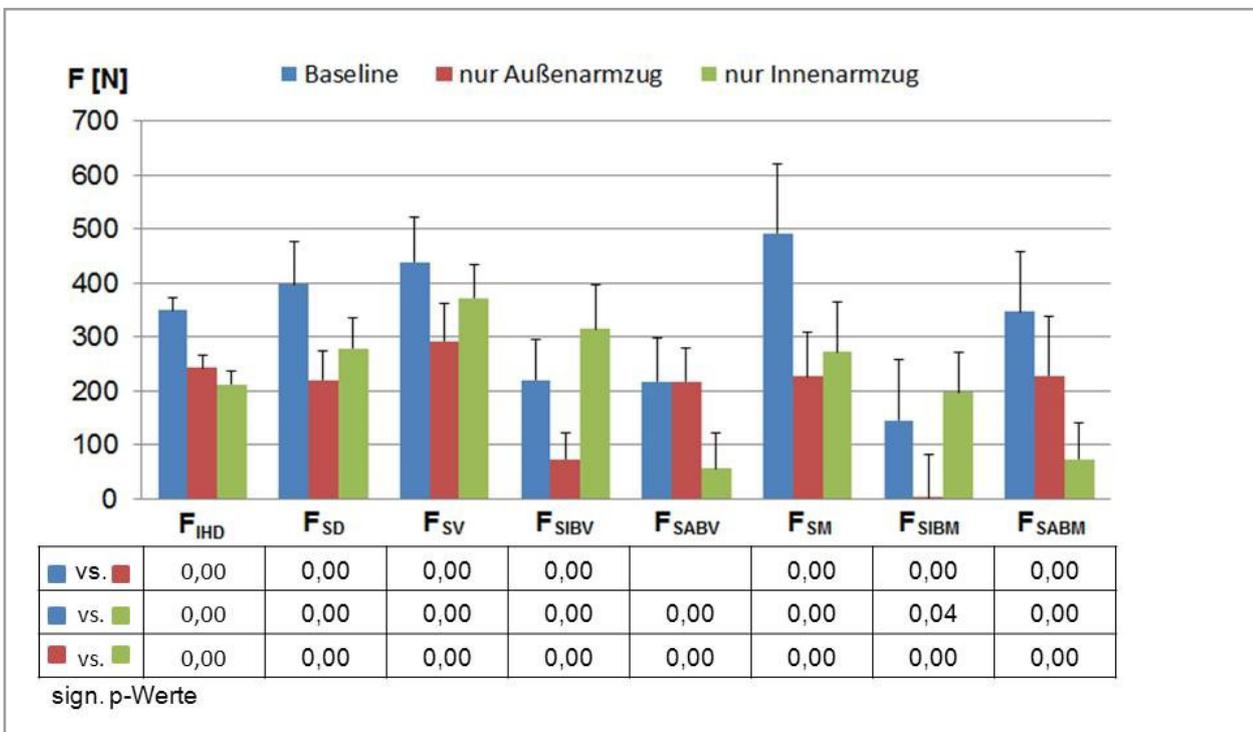


Abb. 1: Vergleich der Innenhebel- und Stembrettkräfte zwischen den Bewegungsvarianten, N = 14

Somit kann festgehalten werden, dass sich durch den Einsatz der Außenhand der Zugrichtungswinkel vergrößert, der prozentuale Anteil der Tangentialkraft an der resultierenden Innenhebelkraft ansteigt und dafür geringere Stembrettkräfte insbesondere des Innenbeins benötigt werden, sodass die Stembrettbelastung insgesamt sinkt. Das gilt insbesondere für den Vorderzug und den Schlagbereich von 70-90° Ruderwinkel im Mittelzug.

## 4 Diskussion & Fazit

Die Untersuchungen bestätigen den bisher theoretisch angenommen Zusammenhang zwischen der Krafteinleitung am Innenhebel und den Stemmbrettkräften. Es konnte gezeigt werden, dass im Vorderzug und abgeschwächt im Mittelzug beachtliche Längskräfte am Riemen auftreten, die keinen Beitrag für den Vortrieb leisten, aber die Stemmbrettkräfte erhöhen und damit den konditionellen Aufwand steigern. Damit ergibt sich die berechnete Forderung an die Trainingspraxis, die Tangentialkraft zu maximieren und zugleich die Längskraft am Innenhebel zu minimieren. Dadurch wird die Vortriebswirksamkeit gesteigert und bei gleicher Tangentialkraft am Innenhebel der konditionelle Aufwand am Stemmbrett reduziert. Die Längskräfte und der Zugrichtungswinkel am Innenhebel differierten erheblich zwischen den Testpersonen, zeigten sich jedoch sehr stabil in den untersuchten Schlagfrequenzstufen von 28-32 Schlägen pro Minute. Obwohl keine signifikanten Unterschiede zwischen den Leistungsklassen (Junioren A versus Senioren U23) festgestellt werden konnten, kann aufgrund der interindividuellen Unterschiede in der wirksamen Krafteinleitung am Innenhebel eine Reserve für die weitere Leistungssteigerung gesehen werden. Das trifft insbesondere für Ruderinnen bzw. Ruderer mit bisher unzureichender Krafteinleitung zu, die sowohl in den Gruppen der Junioren A als auch der Senioren U23 vorkamen.

Die Beträge von Längs- und Tangentialkraft am Innenhebel korrespondierten miteinander, sodass der Zugrichtungswinkel, der das Verhältnis beider Kräfte zueinander ausdrückt, als Bewertungshilfe herangezogen werden muss. Hierfür lassen sich unter Berücksichtigung der Winkelfunktion einfache Bewertungstabellen erstellen.

Die Beträge der Längskräfte zeigten sich auch von der individuellen Schlagcharakteristik abhängig, wobei eine erhöhte Vorderzugbetonung (weite Ruderwinkelvorlage und vorderzugbetonter Krafteinsatz) zu höheren Längskräften führen kann. Bei Ruderinnen bzw. Ruderern mit vorderzugbetonter Schlagcharakteristik ist besonderes Augenmerk auf die tangential Zugrichtung am Innenhebel im Training zu legen. Da mit steigender Bootsgeschwindigkeit die Bedeutung des Vorderzuges zunimmt, muss für die schnellen Riemenboote, Achter und Vierer ohne, das tangential Ziehen besonders berücksichtigt werden.

Da sich die Stichprobe aus Hamburger Kaderathleten (Junioren A und Senioren U23) aus zwei Trainingsgruppen zusammensetzte, liegen noch keine Daten zu Längskräften international erfolgreicher Senioren vor. Diese Daten sollten jedoch unbedingt erhoben werden.

Über Außenhand/Außenarmzug kann gezielt Einfluss auf die Längskraft und die Zugrichtung am Innenhebel genommen werden, weil die Außenhand geometrisch näher an der tangentialen Richtung im Schlagbereich bis 90° Ruderwinkel zieht und darüber hinaus am längeren Hebel angreift. Dadurch resultieren höhere Tangentialkräfte und ein insgesamt größeres Drehmoment sowie geringere Stemmbrettkräfte. Für das Training kann bereits jetzt ein bewusstes Ziehen mit der Außenhand zur Steigerung der tangentialen Krafteinleitung am Innenhebel im Vorderzug als Orientierung empfohlen werden. Außerdem sollten gezielt Schlagserien „Rudern nur mit der Außenhand“ in höherem Maße als bisher in das Wassertraining integriert werden. Dabei sollten auch höhere Schlagfrequenzen nur mit Außenhandrudern absolviert werden.

Da über die Längskraftmessung zwar der Zugrichtungswinkel bestimmt werden kann, jedoch offen bleibt, inwiefern dabei Innen- und Außenhand beteiligt sind, wäre zur weiteren Aufklärung der Kraftabgabe am Innenhebel eine separate Messung der Handkräfte notwendig. Dafür spricht auch das asymmetrische Verhalten von Innen- und Außenbein am Stemmbrett (Herberger et al., 1983; Klavora, 1983; Hagerman, 1984; Kramer, Leger, & Morrow, 1991; Smith & Loschner 2002). Demnach besteht aufgrund der stärkeren Kompression des Innenbeins und der Rumpfrotation in der Vorlage die Tendenz den Beinstoß stärker mit dem Innenbein zu beginnen. Smith & Loschner (2002) sowie auch eigene Untersuchungen (Mattes, 2010) zeigten, dass die Stemmbrettkraft des Innenbeins den Durchzug mit größerer Amplitude beginnt und das Kraftmaximum früher als das Außenbein realisiert. Demgegenüber erreicht die Stemmbrettkraft des Außenbeins größere Werte im Durchzug. Weiter wird angenommen, dass die Muskulatur von Armen und Beine kontralateral arbeiten, wobei der Außenarm und das Innenbein sowie der Innenarm und das Außenbein zusammen wirken.

Damit wäre der nächste folgerichtige Schritt die bisherigen Messungen durch eine separate Erfassung der Außenhandkräfte zu ergänzen. In Abstimmung mit dem Institut FES wurde die Messung der separaten Außenhandkräfte als ein Schwerpunkt für die Jahre 2013-2015 festgelegt. Da bereits ein Prototyp für die Außenhandmessung entwickelt wurde, wäre dieser zunächst ingenieurtechnisch zu erproben und eine evaluierte Version für vier Riemen aufzubauen. Daran können sich Untersuchungen zur Wirkung der Außenhand auf die Zugrichtung am Innenhebel anschließen.

## 5 Literatur

- Böhmert, W. (2009). *Projektbeschreibung Rudermesssystem des Instituts FES*. Projektbeschreibung für das BISp. Berlin: FES.
- Lorms A. (1998). *Kalibrierbarer aktiver Kraftsensor für den Einsatz unter rauen Feldbedingungen*. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.
- Herberger, E., Beyer, G., Harre, D. H., Kruger, H. O., Querg, H. & Sieler, C. (1983). *Rowing*. In Klavora, P. (Ed.), Toronto: Sports Books Publisher.
- Klavora, P. (1982). *Rowing 2*, Ottawa, Ontario: Canadian Amateur Rowing Association.
- Hagerman, F.C. (1984). Applied physiology of rowing. *Sports medicine*, 1, 303-326.
- Kramer, J. F., Leger, A. & Morrow, A. (1991) Oarside and nonoarside knee extensor strength measures and their relationship to rowing ergometer performance. *Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 14 (5), 213-219.
- Smith, R. M. & Loschner, C. (2002). Biomechanics feedback for rowing. *Journal of sports science*, 20 (10), 783-791.
- Mattes, K. (2010). Aktuelle Befunde zur Rudertechnik und Ansätze zur weiteren Leistungssteigerung. In U. Hartmann, V. Grabow, R. Kilzer (Hrsg), *Rudern und Rudertraining. Berichtsband zum Rudersymposium 2006 Berlin* (S. 195 - 210). Sindelfingen: Sportverlag & Dreisilker GmbH.