
Wahrnehmungsoptimierte Bewegungsregulation

Alfred Effenberg (Projektleiter)

Leibniz Universität Hannover, Institut für Sportwissenschaft

Projektziel/Fragestellung

Das Projekt „Wahrnehmungsoptimierte Bewegungsregulation“ zielte auf die erweiterte Nutzung des Wahrnehmungssystems durch zusätzliche bewegungsakustische Informationen im Instruktions- und Feedbackzusammenhang. Beim Messplatztraining im Rudern soll damit die Effizienz motorischer Lernprozesse erhöht und die Qualität der Bewegungstechnik optimiert werden. Qualität und Vielfalt des Bewegungsverhaltens basieren auf der Qualität und dem Umfang motorischer Repräsentationen, perzeptiver und kognitiver Funktionen und motorischer Steuerungsfunktionen. Ein bisher weitgehend ungenutzter Sinnesbereich – das Gehör – sollte durch neue Formen der datenbasierten Bewegungsvertonung (Bewegungs-Sonifikation) umfassender genutzt werden, um neben den visuellen zusätzlich audiomotorische und audiovisuelle Funktionen – bewusste wie unbewusste – in die Bewegungswahrnehmung und -regulation einzubinden. Da in diesem Zusammenhang Wahrnehmungsprozesse bzw. die systemseitige Erzeugung wahrnehmungsbasierter Bewegungsinformation und motorischer Repräsentationen im Mittelpunkt stehen, blieben andere Einflussgrößen des motorischen Lernens, wie z. B. methodisch-didaktische Aspekte oder biomechanisches Wissen bewusst unberücksichtigt.

In der Projektarbeit wurden dazu zwei empirische Untersuchungen realisiert. (1) Auf dem Ruderergometer erlernten Novizen die Technikgrobform. Der Einsatz bewegungsakustischer Zusatzinformation zielte auf die Effizienzsteigerung des Lernprozesses im Nachwuchsbereich (Technikerwerb: Verkürzung der Lernzeit, Präzisierung der Bewegungstechnik). (2) Leistungsruderer und Trainer wurden mit der bewegungsdefinierten Bewegungs-Sonifikation konfrontiert, um das Auflösungsvermögen und die Verständlichkeit dieser Informationsart zu erkunden. Diese explorative Studie wurde anstelle einer ursprünglich geplanten Intervention mit der Bewegungssonifikation realisiert, da die in den Ergometerdaten abgebildeten interindividuellen Differenzen wie auch die Unterschiede der verschiedenen Technikausprägungen (Vorder-, Mittel- und Endzugbetonung) von hoher Subtilität waren und zunächst geklärt werden musste, inwieweit diese sehr feinen Unterschiede in den Sensordaten auditiv überhaupt zu unterscheiden sind.

Methode

48 männliche Untersuchungsteilnehmer ohne Rudererfahrung (Durchschnittsalter 22.8, SD 5.0) versuchten, die Rudertechnik auf dem Ruderergometer zu erlernen. Als Technikmodell wurde die Zieltechnik von einem früheren Juniorenweltmeister auf einem dem Lerngerät identischen Ruderergometer (Concept II) mit reduzierter Intensität realisiert. Die Zieltechnik wurde den Teilnehmern als Videosequenz (10 Ruderzyklen) instruiert. Die Gesamtstichprobe wurde in drei Teilstichproben unter-

teilt, parallelisiert nach initialem Technikstatus und Alter. Die drei Teilstichproben ($3 \times N = 16$) erhielten verschiedene Arten von Instruktion und Feedback:

- Teilstichprobe (TSP) 1 visuell (V): Video + weißes Rauschen.
- TSP 2 audiovisuell 1 (AV_G): Video + bewegungsbegleitende Geräusche.
- TSP 3 audiovisuell 2 (AV_{Soni}): Video + Bewegungssonifikation.

Der individuelle Technikstatus wurde als „Ähnlichkeit der Technik des Probanden zur Zieltechnik“ definiert. Dazu wurden vier zentrale Merkmale der Bewegungstechnik mit vier Sensorsystemen am Ruderergometer in ihrem zeitlichen Verlauf erfasst: Die Griffkraft, die Stemmbrettkraft, der Griffauszug und die Rollsitzeinheit. Die strukturelle Ähnlichkeit der Merkmalsverläufe zu den Merkmalsverläufen der Modellbewegung wurde mit einem „Dynamic time warping“-Algorithmus berechnet. Dieser Algorithmus erlaubt die präzise Berechnung von Ähnlichkeitsmaßen auch unterschiedlich langer Merkmalsverläufe, indem die Ausgangskurve nichtlinear gedehnt bzw. gestaucht wird, bis sie der Zielkurve weitestmöglich angepasst ist. Die Kosten für diese Anpassung werden über eine Maßzahl quantifiziert. Aus den Ähnlichkeitsmaßen aller vier Kurvenverläufe konnte ein Technikindex berechnet werden. In diesen Technikindex ging das für den eigentlichen Bewegungseffekt primär verantwortliche Merkmal – die Griffkraft – mit dem Faktor Fünf gewichtet ein. Der Technikindex wurde für den Prätest, für jeden der drei mal zwei mal fünf Blöcke (drei Wochen Training, zwei Trainingstermine wöchentlich mit jeweils fünf Trainingsblöcken à 50 Zyklen) sowie für den Posttest (Retention drei Wochen nach Trainingsende) ermittelt. Dazu wurde ein Durchschnittszyklus über jeweils zehn Zyklen (Zyklus 31 - 40 je Block) errechnet. Unmittelbar vor und nach jedem Trainingsblock wurde allen drei Teilstichproben die Zieltechnik visuell über eine Videoprojektion der Modelltechnik à zehn Zyklen instruiert. Die audiovisuellen TSP erhielten in den Instruktionsphasen videosynchron die bewegungsbegleitenden Geräusche (AV_G) bzw. die Bewegungssonifikation (AV_{Soni}). Feedback wurde allen TSP während der Zyklen 21 - 30 jeden Trainingsblocks gegeben, und zwar in einer der Instruktion identischen Form, d. h. in Form einer Online-Videoprojektion der eigenen Bewegung bzw. der eigenen bewegungsbegleitenden Geräusche bzw. der eigenen Bewegungssonifikation. Die bewegungsbegleitenden Geräusche wurden mit einem Richtmikrofon des Typs „Behringer ECM 8000“ aufgenommen und über Kopfhörer des Typs „beyerdynamic DT 100“ dargestellt. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der Untersuchung.

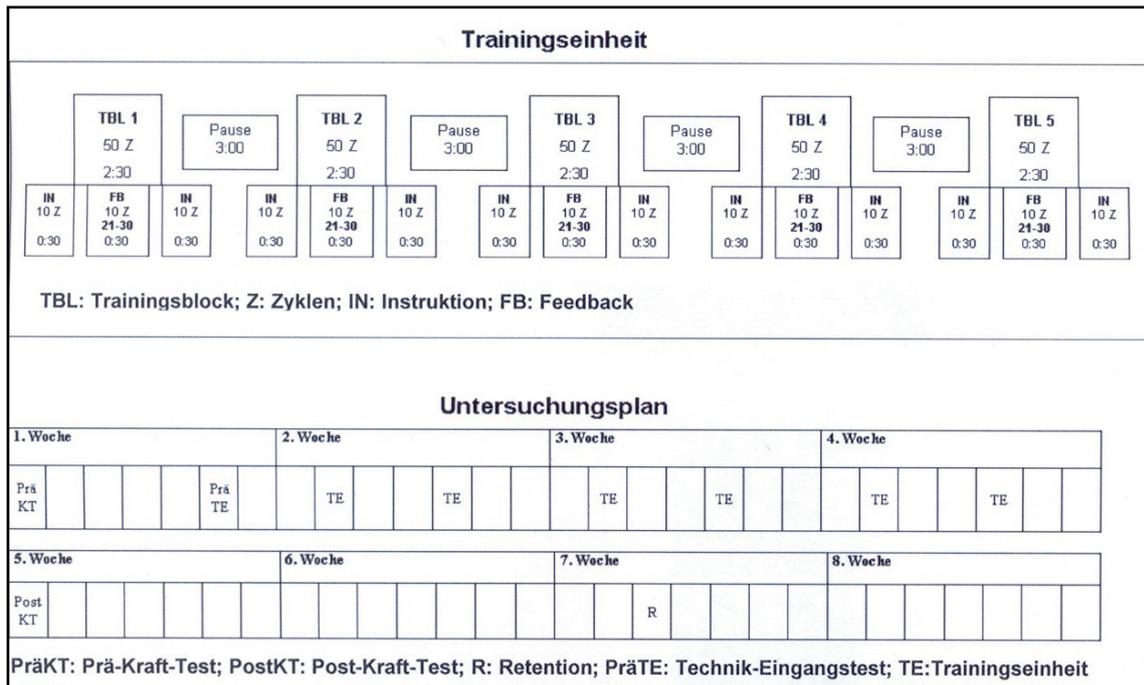


Abb. 1: Die Struktur einer Trainingseinheit und des Untersuchungsplanes der Untersuchungen zur „Wahrnehmungsoptimierten Bewegungsregulation – Technikerwerb der Grobform ‚Rudern auf dem Ruderergometer‘“.

Diskussion der angewandten Untersuchungs- und Analysemethoden: Eine Lernuntersuchung mit dem Anspruch auf hohe externe Validität als Gruppenuntersuchung (konkurrierende Teilstichproben) zu realisieren ist grundsätzlich eine anspruchsvolle Aufgabe, was auch indirekt durch die geringe Anzahl aktueller Untersuchungen in diesem Bereich indiziert wird. Um eine genügend hohe Anzahl interessierter Ruder-Novizen rekrutieren zu können, musste sowohl die Alters-Spannweite wie auch die Spannweite der Maximalkraftfähigkeiten und der initialen Technikausprägung sehr weit gewählt bzw. zugelassen werden. Diese große Heterogenität der Gesamtstichprobe schlug sich einer sehr hohen Varianz in den Daten nieder. Dass für die Gesamtstichprobe die Kriterien motorischer Lernprozesse dennoch derart deutlich zu dokumentieren waren und dass zudem Unterschiede zwischen den verschiedenen Teilstichproben messbar wurden, bestätigt die gewählte Untersuchungsmethode grundlegend. Der im Rahmen des Projektes entwickelte „Dynamic Time Warping“-Algorithmus hat sich als ein neues und tragfähiges Instrument für die Quantifizierung von Abstandsmaßen interindividueller Technikausprägungen erwiesen. Abgesehen vom Zeitplan musste auch die Anzahl der Probanden modifiziert werden. Die Ergebnisse der Methode wurden über Expertenbeurteilungen bestätigt. Eine Publikation zu dieser Methode, die bisher überwiegend in Zusammenhang mit Prozessen des Data mining, Motion morphing und der Sprach-Prozessierung Anwendung fand, ist in Vorbereitung.

Ergebnisse¹

Für die Gesamtstichprobe wurden bezüglich der aus den Zyklen 31 - 40 jeden Trainingsblocks errechneten Durchschnittszyklen Haupteffekte für „Training“ und „Block“ evident („Training“: $F = 33.11$ $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.42$; „Block“: $F = 21.15$; $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.32$). Zwischen den Gruppen wurde ein Haupteffekt für „Treatment“ („Treatment“: $F = 3.57$; $p = 0.036$; $\eta^2 = 0.14$) erkennbar (ANOVA, Messwiederholung). Zu den Unterschieden zwischen den Treatments wurden Post-Hoc Tests (LSD) gerechnet: (V) vs. (AV_{Soni}), $p = 0.018$; (AV_{Soni}) vs. (AV_{G}), $p = 0.037$; (V) vs. (AV_{G}), $p = 0.765$. Die höchste Genauigkeit im Vergleich zur Zieltechnik wies die Teilstichprobe AV_{Soni} auf, die Unterschiede zwischen den Teilstichproben V, AV_{G} wurden nicht signifikant. Der finale Technikindex blieb bei der Retention (zwei Blöcke à 50 Zyklen ohne und mit Information, Durchschnittszyklus über die Zyklen 31 - 40) stabil (Haupteffekt Training $F = 1.36$; $p = 0.25$, Interaktion Treatment x Training $F = 0.51$; $p = 0.60$).

Diskussion: Offenbar waren die Untersuchungsbedingungen so gewählt, dass eine Veränderung des Technikindex sowohl über das dreiwöchige Training wie auch zwischen den Trainingsblöcken für die Gesamtstichprobe messbar wurde. Auch konnte die zeitliche Stabilität für diese Lerneffekte belegt werden (Retentionsmessung). Die Ergebnisse der Post-Hoc Tests belegen die höchste Wirksamkeit im Lernzusammenhang für die audiovisuelle Information auf Basis der Bewegungssonifikation. Überraschend ist die nicht nachweisbare zusätzliche Wirksamkeit der natürlichen bewegungsbegleitenden Geräusche: Aufgrund der umfassenden differenzierten Akustik des Ruderergometers wäre ein zusätzlicher Effekt auf den Lernprozess zu erwarten gewesen. Warum dies im Vergleich mit der visuellen Stichprobe nicht der Fall war bzw. warum die Bewegungssonifikation hingegen zu einem Effekt im Vergleich mit der visuellen wie auch mit der audiovisuellen Stichprobe „bewegungsbegleitende Geräusche“ geführt hat, darüber kann lediglich spekuliert werden. Hier könnte die hohe Komplexität der Sonifikation (vier Tonspuren auf Basis der vier Sensordatenströme) wie auch die Kombination von kontinuierlichem und ereignisbezogenem bewegungsakustischen Mapping gegenüber den bewegungsbegleitenden Geräuschen (primär Geräusche des Windrades und des Rollsitzes) den auditiven bzw. audiovisuellen Informationsgehalt – z. B. auch durch die deutliche Rhythmisierung der Bewegungen – verstärkt haben.

Methode und Ergebnisse „Projektphase II“²

Die Studie untersucht die Wirkung akustischer Zusatzinformationen (Sonifikation) beim technikorientierten Training auf dem FES Ruderergometer auf Athleten und Trainer. Dafür wurde eine explorative Studie mit drei Athleten des Deutschen Ruderverbandes durchgeführt, die nach einem festgelegten Design 80 Ruderschläge absolvieren sollten. Parallel wurden die Ruderschläge der weiblichen Athleten mit Video aufgezeichnet. Die Kraft-Zeit-Verläufe von Stemmbrett- und Zugkraft wurden in Hamburg gemessen und anschließend in Bonn vertont sowie nachträglich mit dem Videobild synchronisiert.

1 Die Ergebnisse incl. Diskussion sind in Auszügen dem Abstract des u. g. Beitrages Effenberg et al. (2009) entnommen.
2 Die Ergebnisse incl. Diskussion sind in Auszügen dem Text: „Der Einsatz akustischer Zusatzinformationen beim technikorientierten Training auf dem FES Ruderergometer“ (Spoercke, M., Schaffert, N. & Mattes, K. (i. V.) entnommen.

Die Daten wurden mit deutlichem Zeitversatz (ca. ein halbes Jahr nach der Testdurchführung) den Trainern (N = 3) und Athleten (N = 3) präsentiert, was (zumindest bei den Athleten) einen Einfluss auf die unmittelbare Wirkung der Sonifikation in Kombination mit der Bewegung haben kann. Die Befragung fand mittels standardisierter Fragebögen in einem Untersuchungsraum statt, wobei die Möglichkeit bestand, die mit dem Video synchronisierte Klangsequenz so oft wie nötig anzuhören und ggf. Nachfragen zu stellen.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen bei Athleten und Trainern eine grundsätzliche Übereinstimmung in den Antworten hinsichtlich der Eignung einer akustischen Zusatzinformation als geeignete Methode zur Ansteuerung der Bewegungsregulation im Training. Die dynamisch-zeitliche Struktur der Ruderbewegung kann mit der Sonifikation abgebildet werden und Unterschiede in der Bewegungsausführung werden gehört. Damit sind Akzentuierungen des Krafteinsatzes im Durchzug (z. B. Vorderzug-, Mittelzug- und Endzugbetonung) und unterschiedliche Belastungsintensitäten akustisch abgebildet. Die Kombination mit dem Videobild zur Erleichterung der Zuordnung der Sonifikation zu den einzelnen Bewegungsphasen wurde bei Athleten und Trainern unterschiedlich gesehen, was wohl hauptsächlich auf mögliche zeitliche Synchronisationstoleranzen von Ton und Bild zurückzuführen sein könnte. Konkrete Zahlen und weitere Analysen können der Diplomarbeit von Spoercke, M. (i. V.) entnommen werden und lagen bei der Erstellung des Kurzberichtes noch nicht vor.

Darstellung der Nachnutzungsmöglichkeiten der Projektergebnisse, Praxis- und Literaturtransfer

Obwohl die angestrebten Projektziele des Verlängerungszeitraumes nicht vollständig realisiert werden konnten, hat das gesamte Forschungsprojekt einen hohen Ertrag mit unmittelbarer Praxisrelevanz erbracht. Mit der Lernuntersuchung konnte erstmals gezeigt werden, dass eine bestimmte Form der zusätzlichen akustischen Bewegungsinformation motorische Lernprozesse einer zyklischen Bewegungstechnik unterstützt bzw. zu einem effizienteren Lernverlauf führt. Nach einem Überblick über die Ergebnisse in einem Beitrag auf der dvs-Sektionstagung „Sportmotorik“ (Effenberg et al., 2009) wird gegenwärtig eine internationale Publikation vorbereitet. Auch ein Einsatz zusätzlicher bewegungsakustischer Information bei der Technikoptimierung Fortgeschrittener erscheint vor dem Hintergrund der bei den Novizen erfassten Daten plausibel. Zum funktionellen Hintergrund bei der Verarbeitung audiovisueller Bewegungsinformation liegen erste Erkenntnisse vor (Lahav et al., 2007; Scheef et al., 2009). Sollten sich die im Anfängerbereich gemessenen Effekte auch bei Fortgeschrittenen bzw. bei der Optimierung der Bewegungstechnik bestätigen, so wäre neben der möglicherweise zu erreichenden höheren Technikqualität vor allem auch der geringere zeitliche Aufwand im Hochleistungsbereich ein nicht zu unterschätzender Wettbewerbsvorteil. Die Auswahl und auch die akustische Umsetzung der Bewegungsmerkmale müsste allerdings den veränderten Bedingungen im Leistungsrudern aller Voraussicht nach angepasst werden.

In den Mannschaftsbooten hat die Umsetzung der Projektergebnisse mit dem BISp-Nachfolgeprojekt „Sonifikation der Bootsbeschleunigung zur Optimierung der Bootsgeschwindigkeit“ (Leitung: K. Mattes) begonnen. Die Echtzeit-Bewegungs-Sonifikation wird hier für die Optimierung der Techniksynchronisation und damit für die Erhöhung der Bootsgeschwindigkeit eingesetzt. Literatur- und veranstaltungsseitig sind die neue Methoden und auch die Ergebnisse breit publiziert worden. Einen Überblick gibt die nachfolgende Publikationsübersicht.

Publikationen

- Effenberg, A.O., Fehse, U., Mechling, H., Mattes, K. & Weber, A. (2009). Visuelle und audiovisuelle Information beim Motorischen Lernen. In S.D. Baumgärtner, F. Hänsel & J. Wiemeyer (Hrsg.), *Informations- und Kommunikationstechnologien in der Sportmotorik* (S. 66-68). Hamburg: Druckerei der Techniker Krankenkasse.
- Effenberg, A.O., Mechling, H., Weber, A., Mattes, K. & Fehse, U. (2008). Multi-sensory information: Does audiovisual information enhance motor learning? In J. Cabri, F. Alves, D. Araujo, J. Barreiros, J. Diniz & A. Veloso (Eds.), *Book of Abstracts of the 13th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Estoril, Portugal.
- Effenberg, A.O., Weber, A., Mattes, K., Fehse, U., Kleinöder, H. & Mechling, H. (2007). Multimodale Informationen beim Bewegungslernen. In: J. Backhaus, F. Borkenhagen & J. Funke-Wieneke (Hrsg.), *SportStadtKultur* (S. 209-210). Hamburg: Czwalina.
- Effenberg, A.O., Weber, A., Mattes, K., Fehse, U. & Mechling, H. (2007). Motor Learning and Auditory Information: Is Movement Sonification efficient? [Supplement to] *Journal of sport & exercise psychology*, 29, 66.
- Lahav, A., Saltzman, E. & Schlaug, G. (2007). Action Representation of Sound: Audiomotor Recognition Network While Listening to Newly Acquired Actions. *The journal of neuroscience*, 27 (2), 308-314.
- Schaffert, N., Mattes, K. & Effenberg, A.O. (2009). Sonifikation zur Optimierung des Bootsdurchlaufes im Rennrudern. In S.D. Baumgärtner, F. Hänsel & J. Wiemeyer (Hrsg.), *Informations- und Kommunikationstechnologien in der Sportmotorik* (S. 69-71). Hamburg: Druckerei der Techniker Krankenkasse.
- Schaffert, N., Mattes, K. & Effenberg, A.O. (2009). A Sound Design for the Purposes of Movement Optimisation in Elite Sport (Using the Example of Rowing). In *Proceedings of the 15th International Conference on Auditory Display*, Copenhagen, Denmark, May 18-22, 2009.
- Schaffert, N., Gehret, R., Effenberg, A.O. & Mattes, K. (2008). The sonified boat motion as the characteristic rhythm of several stroke rate steps. In P. O'Donoghue & A. Hökelmann (Ed.), *Book of Abstracts. VII. World Congress of Performance Analysis of Sport*. 3rd-6th September 2008, Magdeburg, Germany, p.210.
- Scheef, L., Boecker, H., Daamen, M., Fehse, U., Landsberg, M.W., Granath, D.O. et al. (2009). Multimodal motion processing in area V5/MT: Evidence from an artificial class of audio-visual events. *Brain research*, 1252 (C), 94-104.