

---

## **Reihenfolgeeffekte beim Fertigkeitlernen – Einfluss des kontralateralen Lerntransfers auf die Wahl der anfänglichen Trainingsseite**

Jürgen Krug (Projektleiter) & Tino Stöckel

Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät,  
Institut für Allgemeine Bewegungs- und Trainingswissenschaften

### **Einführung und Problemstellung**

Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass beim Erlernen einer sportmotorischen Fertigkeit beidseitiges Üben sowohl für das spätere Leistungsniveau der dominanten als auch der nicht-dominanten Körperseite von Vorteil ist und, interessanterweise, auch bei ausschließlich unilateral ausgeführten Bewegungen, wie beim Tischtennis (Maurer, 2005) einer alleinigen Schulung der dominanten Körperseite überlegen ist. Als eine Ursache dafür wird die Übertragung eines Übungseffekts von einer Körperseite auf die andere genannt (z. B. Drenkow, 1961), was in der Wissenschaft heute als kontralateraler Transfer bezeichnet wird (z. B. Kuhn, 1987). Dieser scheint asymmetrisch in Abhängigkeit von der geübten Seite zu sein (Magill, 2001). Dabei wird angenommen, dass verschiedene Komponenten bzw. Aspekte einer Bewegung in Richtung und Stärke unterschiedlich gut transferieren (Carson, 1989; Teixeira, 2000). Bisherige Befunde aus den Neurowissenschaften deuten darauf hin, dass die beiden Hirnhemisphären für verschiedene Anforderungen differenziert herangezogen werden und auf die Verarbeitung bestimmter Aspekte der Bewegung spezialisiert sind (für einen Überblick Serrien, Ivry & Swinnen, 2006). Dabei wird der linken Hemisphäre stärker die Steuerung (ohne Feedback) der dynamischen Eigenschaften einer Aufgabe zugeschrieben und der rechten Hemisphäre die Kontrolle (durch sensorische Rückmeldung) finaler Bewegungszustände. Wie diese Erkenntnisse für motorische Lernprozesse nutzbar gemacht werden können, blieb bislang unklar. Es scheint jedoch offensichtlich, dass die Richtung höheren kontralateralen Lerntransfers maßgeblich die optimale anfängliche Trainingsseite bei der Aneignung motorischer Fertigkeiten bestimmt. Basierend auf vorliegenden Befunden sollte diese abhängig von inhärenten Aufgaben- bzw. Lernanforderungen sein. Innerhalb des Forschungsprojektes wurden Experimente zur Aneignung verschiedener sporttechnischer Fertigkeiten mit gegensätzlichen Aufgabenanforderungen innerhalb eines Transferparadigmas durchgeführt, um aufgabenspezifische Reihenfolge- und Transfereffekte aufzudecken und damit der Frage nach der optimalen anfänglichen Trainingsseite beim Erwerb sportmotorischer Fertigkeiten nachzugehen.

## Methoden

Wir untersuchten den Effekt des anfänglichen Übens mit der dominanten Hand gegenüber anfänglichem Üben mit der nicht-dominanten Hand für die Aneignung einer Wurf Aufgabe (Exp. 1), einer Dribblingaufgabe (Exp. 2) und einer Aufgabe zur Präzision des Angriffsschlags aus dem Volleyball (Exp. 3). Dabei wird im Folgenden jedoch nur auf die ersten beiden Experimente eingegangen, da die beiden Aufgaben sich sehr stark in ihren primären Lernanforderungen unterscheiden und bezüglich der theoretischen Annahme gegensätzliche Ergebnismuster liefern sollten. In jedem Experiment kamen zwei Versuchsgruppen zum Einsatz, welche die jeweilige Aufgabe zu gleichen Umfängen auf beiden Körperseiten übten, jedoch bei gegensätzlicher Handreihenfolge – anfänglich mit der dominanten (D-Nd Gruppe) oder der nicht-dominanten Hand (Nd-D Gruppe). Die Leistungsentwicklung bei der Aufgabe zur Maximierung des Kräfteinsatzes beim Werfen (Exp. 1) bzw. der Aufgabe zur Minimierung der Bewegungszeiten und Optimierung der Bewegungskoordination beim Dribbling (Exp. 2) wurde für jede Hand separat in drei Messwiederholungen erhoben. Der Referenzwert wurde jeweils vor der ersten Trainingseinheit ermittelt.

**Probanden.** In Experiment 1 nahmen 20 Kinder (12 Mädchen und 8 Jungen) der Klassenstufen 5 und 6 ( $11.7 \pm 1.9$  Jahre) einer Leipziger Mittelschule teil und in Experiment 2 beteiligten sich 61 Kinder (19 Mädchen und 42 Jungen) zwischen 11 und 13 Jahren ( $11.6 \pm 1.1$  Jahre) von Leipziger Gymnasien. Alle Versuchspersonen waren Novizen bezüglich der gestellten Aufgaben. Die Untersuchungen fanden im regulären Sportunterricht der jeweiligen Schulen statt.

**Experiment 1 (Wurfaufgabe).** Die untersuchte Aufgabe ist vergleichbar mit Wurftechniken der Spielsportarten Handball und Baseball. Das Ziel in diesen Sportarten ist es, den Ball so „scharf“ (kraftvoll) und so präzise wie möglich zu werfen. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Anforderung an die Zielgenauigkeit minimiert (keine Zielvorgabe), um Reihenfolgeeffekte für die inhärenten Anforderungen „Wurfkraft“ und „Geschwindigkeit“ aufzudecken. Zur Quantifizierung der Wurfkraft wurden Schlagwürfe an einem mobilen Seilzugergometer (SZE) gegen einen vordefinierten geringen Widerstand ausgeführt (siehe Abb. 1). Als abhängige Variable diente die maximale Abwurfgeschwindigkeit (AG).

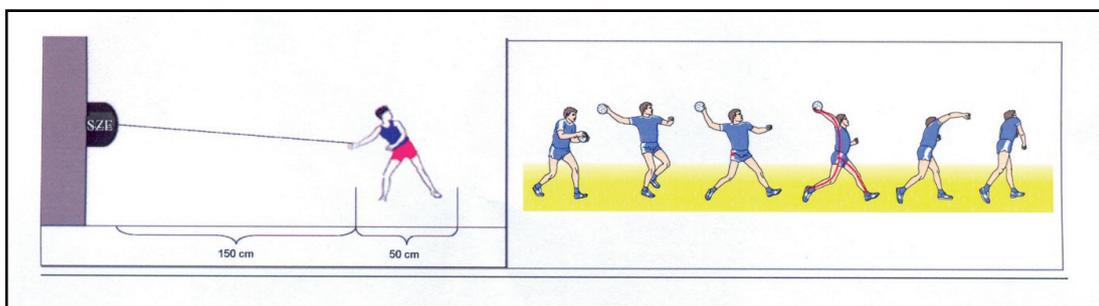


Abb. 1: Experimentalanordnung zur Überprüfung der maximalen Abwurfgeschwindigkeiten am Seilzugergometer (links) und der geforderten Bewegungsausführung (rechts; nach Kolodziej, 2007).

**Experiment 2 (Dribblingaufgabe).** Der Slalomdribbling-Test (SDT), welchen wir zur Erhebung der Bewegungskoordination und Orientierung beim Dribbling nutzten, ist eine modifizierte Version der Aufgabe von Teixeira, Silva und Carvalho (2003) zur Untersuchung der Geschwindigkeit beim Dribbling im Fußball. Der SDT verlangt von den Probanden, mit einem offiziellen Basketball der Größe 7 in Slalombewegungen um sechs in einer Linie aufgestellte Stangen zu dribbeln (siehe Abb. 2) und so schnell wie möglich zur Ausgangsposition zurückzukehren. Der Test stellt vielfältige Anforderungen an die Bewegungskoordination. Er verlangt von den Versuchspersonen eine schnelle aber gleichzeitig räumlich und technisch genaue Ausführung des Dribblings. Wesentliche Anforderungen sind optimales Timing und optimale Bewegungsgeschwindigkeit bei hohem Koordinations- und Präzisionsdruck. Die absolute Zeit zur Absolvierung des SDT spiegelt die oben genannten Aspekte am besten wider und diente daher als abhängige Variable im Experiment.

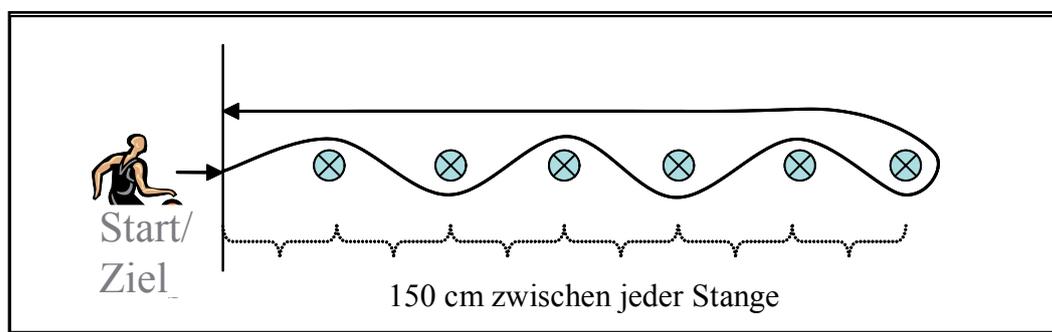


Abb. 2: Experimentalanordnung beim Slalomdribbling-Test (SDT).

**Durchführung.** Nach einem Pretest wurden die Versuchspersonen (Vpn) in beiden Experimenten auf zwei Experimentalgruppen parallelisiert verteilt. In der folgenden Interventionsphase übten die Probanden die jeweilige Aufgabe in acht Trainingseinheiten (je 45 Minuten) unter der jeweiligen Gruppenbedingung. Die *dominant- > nicht-dominant Gruppe* (D-Nd) übte die ersten vier Einheiten mit der dominanten Hand und wechselte für die verbleibenden vier Einheiten auf die nicht-dominante Hand. Die *nicht-dominant- > dominant Gruppe* (Nd-D) übte in umgekehrter Reihenfolge. Der Übungsumfang war in diesem vollständig gekreuzten Transferdesign in beiden Gruppen auf beiden Körperseiten identisch. Unterschiedlich zwischen den Gruppen war lediglich die Reihung der Hände im Übungsprozess. In den Untersuchungen der Bewegungsaufgaben aus dem Handball und dem Basketball wurden die Vpn zusätzlich zum Zeitpunkt des Handwechsels auf beiden Körperseiten einzeln getestet, um gerichtete Transfereffekte zu überprüfen. Während der Interventionsphase erhielten alle Vpn ein Training zur Aneignung der jeweiligen sportmotorischen Fertigkeit. Umfang und Inhalte der Übungseinheiten waren für beide Körperseiten und in beiden Gruppen identisch. Die jeweilige Leistung der dominanten und der nicht-dominanten Hand wurde in einem Pretest (vor der ersten Einheit), einem Zwischentest (vor dem Handwechsel), einem Posttest (nach Abschluss der Trainingsphase) und in einem Retentionstest (nach zwei Wochen ohne Üben) ermittelt.

## Ergebnisse

**Schlagwurf (Handball).** Abb. 3a zeigt die maximale AG im Untersuchungsverlauf für beide Gruppen. Die Aufgabe wurde von denjenigen Vpn auf beiden Körperseiten besser gelernt, welche anfänglich mit der dominanten Hand übten und nach der Hälfte der Übungseinheiten auf die nicht-dominante Hand wechselten. Während die D-Nd Gruppe ihre Leistung zum Retentionstest auf der dominanten Hand um 16.2 % und auf der nicht-dominanten Hand um 15.1 % steigerte, fielen die Verbesserungen der Nd-D Gruppe mit 7.6 % und 3.8 % deutlich geringer aus. Innerhalb einer Varianzanalyse können diese Effekte als signifikant bestätigt werden (Gruppe x Zeit Interaktion,  $F(2,17) = 3.27, p < .05$ ). Kontralateraler Lerntransfer zeigte sich vom dominanten auf den nicht-dominanten Arm, wohingegen anfängliches Üben mit der nicht-dominanten Seite nicht zu Transfer führte. Anfängliches Üben mit der dominanten Hand ist somit gleichzeitig vorteilhaft für die Aneignung der Aufgabe auf der nicht-dominanten Seite. Das Ergebnismuster geht einher mit früheren Befunden zur Richtung des kontralateralen Transfers bei Aufgaben mit hoher Anforderung an die Maximierung des Kräfteinsatzes (z. B. Farthing et al., 2005).

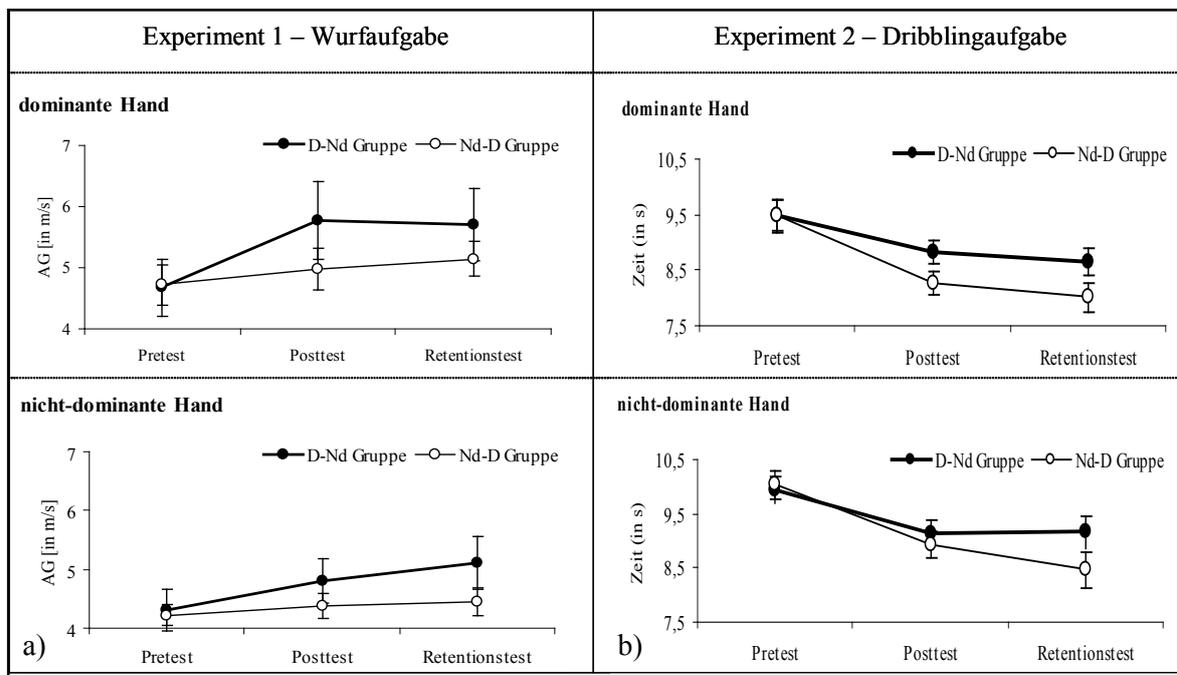


Abb. 3: Absolute Werte der dominanten und nicht-dominanten Hand für a) Wurfaufgabe (am SZE) und b) Dribblingaufgabe (SDT) zum Pre-, Post- und Retentionstest für die dominant- > nicht-dominant Gruppe (D-Nd; volle Kreise) und die nicht-dominant- > dominant Gruppe (Nd-D; offene Kreise). Im Experiment 1 stehen höhere maximale Abwurfgeschwindigkeiten (AG) und in Experiment 2 geringere Zeiten zur Absolvierung des SDT für eine bessere Leistung.

**Slalomdribbling (Basketball).** In Abb. 3b sind die absoluten Zeiten zur Absolvierung des SDT im Vergleich zwischen den Gruppen dargestellt. Die Aufgabe wurde von denjenigen Vpn auf beiden Körperseiten besser gelernt, welche anfänglich mit der nicht-dominanten Hand übten und nach der Hälfte der Übungseinheiten auf die dominante Hand wechselten. Die Nd-D Gruppe erreichte im Vergleich zur D-Nd Gruppe in Post- und Retentionstest geringere Zeiten (Gruppe x Zeit - Interaktion,  $F(2,58) = 3.91, p < .05$ ). Während die Nd-D Gruppe ihre Leistung zum Retentionstest auf der dominanten Hand um 15.4 % und auf der nicht-dominanten Hand um 15.7 % steigern konnte, fielen die Verbesserungen der D-Nd Gruppe mit 8.8 % und 7.9 % deutlich geringer aus. Anfängliches Üben mit der nicht-dominanten Hand führt demnach zu direktem Transfer auf die dominante Hand (ohne weiteres Üben) und hat auch einen positiven (indirekten) Einfluss auf die Aneignung der Aufgabe auf der dominanten Hand (kontralateraler Transfer). Die Ergebnisse bestätigen frühere Befunde zur Richtung höheren kontralateralen Transfers bei motorischen Aufgaben mit hoher Anforderung an die räumliche Orientierung, Koordination und Präzision (z. B. Haaland & Hoff, 2003, Stöckel et al., 2007).

## Diskussion

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes unterstützen die Annahme von aufgabenspezifischen Reihenfolge- und Transfereffekten bei der Aneignung sporttechnischer Fertigkeiten. Anfängliches Üben mit der dominanten Körperseite war von Vorteil bei der Wurf Aufgabe in Experiment 1 (Stöckel, Weigelt, Witt & Krug, angenommen), was durch höhere AG der D-Nd Gruppe belegt wurde. Eine detaillierte Sichtung der Daten offenbarte, dass die Probanden der Nd-D Gruppe ihre Leistung nach anfänglich nicht-dominantem Üben nicht steigern konnten. Dies deutet auf stärkeren Transfer der Kraftkomponente der Aufgabe von der dominanten zur nicht-dominanten Hand hin. Im Gegensatz dazu profitierten bei der Aneignung der Dribblingaufgabe in Experiment 2 jene Probanden stärker von der Trainingsphase, welche anfänglich mit der nicht-dominanten Körperseite übten (Stoekel, Weigelt & Krug, under review). Dies konnte durch geringere Zeiten der Nd-D Gruppe zur Absolvierung des SDT nach dem Üben belegt werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass diese spezifischen Reihenfolgeeffekte gleichermaßen die Aneignung der Aufgabe auf beiden Körperseiten beeinflussten.

Die erzielten Effekte lassen sich auf eine funktionelle Spezialisierung bei der Verarbeitung bestimmter Aspekte der Bewegung im frühen Lernprozess zurückführen. Eine mögliche Erklärung liefert dabei die Hemisphärenspezialisierung (z. B. Sainburg, 2002 (*dynamic dominance hypothesis*); auch Serrien et al., 2006 für einen Überblick). Dabei wird der dominanten, linken Hemisphäre stärker die Steuerung (ohne Feedback) der dynamischen Eigenschaften einer Aufgabe zugeschrieben und der rechten Hemisphäre die Kontrolle (durch sensorische Rückmeldung) finaler Bewegungszustände. Das „gezielte“ Ansprechen der für eine Anforderung spezialisierten Hemisphäre durch den kontralateral verschalteten Effektor scheint zu einer günstigeren Bewegungsrepräsentation bzw. einem besseren Bewegungsplan zu führen. Das gespeicherte Bewegungsmuster kann dann durch die neuronale Verschaltung der Hemisphären über das corpus callosum auch von der kontralateralen

Seite genutzt werden. Umgekehrt scheint sich bei der anfänglichen Beanspruchung des nicht-spezialisierten Hemisphäre-Effektor-Systems (HES) eine schwächere Repräsentation auszubilden, welche nicht oder nur unzureichend von der gegenüberliegenden Seite genutzt werden kann. Ein späteres Einbeziehen der bis dahin ungeübten Körperseite würde demnach einem Neulernen entsprechen. Dieser Modellansatz ergänzt somit das *cross-activation model* von Parlow und Kinsbourne (1989) um Aspekte der Bewegungssteuerung und -kontrolle, für welche die nicht-dominante, rechte Hirnhemisphäre spezialisiert ist (vertiefend dafür Stöckel, 2009). Unter Einbeziehung dieses Modells scheint es sinnvoll, motorische Fertigkeiten mit hoher Anforderung an den Kräfteinsatz anfänglich mit dem dominanten HES zu üben, wohingegen anfängliches Üben mit dem nicht-dominanten HES bei Aufgaben mit hoher Anforderung an räumliche Präzision, Orientierung und Koordination von Vorteil sein sollte. Im Allgemeinen sprechen die vorliegenden Ergebnisse dafür, dass die optimale anfängliche Reihung der Körperseiten bei der Aneignung neuer motorischer Fertigkeiten abhängig ist von den primären inhärenten Bewegungs- bzw. Lernanforderungen. Die Befunde sollten dazu beitragen Trainingspläne (im frühen Aneignungsprozess) zu optimieren, indem verstärkt die jeweiligen Lernanforderungen als Indikator für die Auswahl der anfänglichen Übungsseite beim Erlernen neuer sporttechnischer Fertigkeiten genutzt werden. Ähnliche Befunde werden bei rein unilateral ausgeführten Sportarten wie den Wurf- und Stoßdisziplinen in der Leichtathletik oder den Rückschlagspielen erwartet.

## Literatur

- Carson, R.G. (1989). Manual asymmetries: In defense of a multifactorial account. *Journal of motor behavior*, 21, 157-162.
- Drenkow, E. (1961). Zum Problem der beidseitigen Ausbildung im Sport – 2. und 3. Teil. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 10, 41-48, 137-145.
- Farthing, J.P., Chilibeck, P.D. & Binsted, G. (2005). Cross-education of arm muscular strength is unidirectional in right-handed individuals. *Medicine and science in sport and exercise*, 37 (9), 1594-1600.
- Haaland, E. & Hoff, J. (2003). Non-dominant leg training improves the bilateral motor performance of soccer players. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 13, 179-184.
- Kolodziej, C. (2007). *Richtig Handball* (2. Auflage). München: BLV Buchverlag.
- Kuhn, W. (1987). *Zum Phänomen des kontralateralen Transfers*. Köln: bps-Verlag.
- Magill, R.A. (2001). *Motor Learning: Concepts and applications* (6th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Maurer, H. (2005). Beidseitiges Üben sportmotorischer Fertigkeiten. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 12, 93-99.
- Parlow, S.E. & Kinsbourne, M. (1989). Asymmetrical transfer of training between hands: Implications for interhemispheric communication in normal brain. *Brain and cognition*, 11, 98-113.
- Sainburg, R.L. (2002). Evidence for a dynamic dominance hypothesis of handedness. *Experimental brain research*, 142, 241-258.
- Serrien, D.A., Ivry, R.B. & Swinnen, S.P. (2006). Dynamics of interhemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature review neuroscience*, 7, 160-167.
- Stöckel, T. (2009). *Die (optimale) anfängliche Trainingsseite beim motorischen Lernen – Zu aufgabenspezifischen Reihenfolge- und Transfereffekten im Aneignungsprozess*. Dissertation, Universität Leipzig.
- Stöckel, T., Hartmann, C. & Weigelt, M. (2007). Reihenfolgeeffekte für das Erlernen komplexer sportmotorischer Fertigkeiten auf beiden Körperseiten – Eine Basketballuntersuchung bei Schulkindern. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 14 (3), 130-135.
- Stöckel, T., Weigelt, M. & Krug, J. (under review). *Bilateral practice of complex motor tasks and the hand-order in skill acquisition*.
- Stöckel, T., Weigelt, M., Witt, M. & Krug, J. (angenommen). *Reihenfolgeeffekte beim beidseitigen Fertigkeitlernen – Eine Untersuchung zum Schlagwurf im Handball mit Schulkindern*. Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge.
- Teixeira, L.A. (2000). Timing and force components in bilateral transfer of learning. *Brain and cognition*, 44, 455-469.
- Teixeira, L.A., Silva, M.V. & Carvalho, M.A. (2003). Reduction of lateral asymmetries in dribbling: The role of bilateral practice. *Laterality*, 8, 53-65.

