

MATHIAS REISER & STEFAN KÜNZELL

Effekte mentaler Übung bei kurzandauernden, ballistischen Bewegungen – eine experimentelle Untersuchung im Rahmen der Programmierungs-Hypothese

1 Problemstellung

Die Wirkung von mentaler Übung auf das Lernen von Bewegungen ist in zahlreichen Studien dokumentiert. Meta-Analysen machen deutlich, dass die Effektivität bewusst eingesetzter Bewegungsvorstellungen in hohem Maß von der untersuchten Bewegungsaufgabe abhängt (FELTZ und LANDERS, 1983; DRISKELL, COPPER und MORAN, 1994). Während sich bei als eher kognitiv eingestuften Aufgaben (untersucht wird hier z.B. das Durchlaufen eines Labyrinths) regelmäßig bedeutsame Leistungsverbesserungen zeigen, fallen die Effekte bei eher „motorischen“ Aufgaben geringer aus. Typische als motorisch eingestufte Aufgaben sind z.B. Balancieren und Zielwerfen.

Wie SCHMIDT und LEE (1999, S. 313) jüngst konstatieren, finden sich jedoch insgesamt nur vergleichsweise wenige Arbeiten, die theoriegeleitet Annahmen dazu prüfen, wie durch mentale Übung die Bewegungsausführung und letztlich die Leistung verbessert werden kann. In diesem Zusammenhang wird häufig auf einen Beitrag von HEUER (1985) verwiesen, der – ausgehend von der Vorstellung, dass Bewegungen in unterschiedlichen Modi repräsentiert sind (motorisch, kinästhetisch, räumlich-bildhaft, sprachlich-symbolisch) – zwei spezifische Annahmen diskutiert:

– Weitgehend akzeptiert ist die sogenannte kognitive Hypothese. Sie besagt, dass durch mentale Übung die räumlich-bildhafte Repräsentation einer Bewegung verbessert wird. Mentale Übung nützt demnach in Situationen, bei denen Bewegungsmerkmale gelernt werden sollen, die durch Bilder oder sprachliche Beschreibungen vermittelt werden können. Aufgaben, bei denen räumliche Konstellationen (etwa bestimmte Körperpositionen) oder die zeitliche Abfolge von Teilbewegungen zu lernen sind, sind hierfür typisch.

– Bislang kaum belegt ist die Programmierungshypothese, die unterstellt, dass mentale Übung direkt auf ausführungsnahen, d.h. motorische bzw. kinästhetische Bewegungsrepräsentationen wirkt.

Die Programmierungshypothese

Die Programmierungshypothese besagt, dass mit jeder Vorstellung einer Bewegung auch eine Bewegungsprogrammierung verbunden ist. Mit der Bewegungsvorstellung wird eine Ausführung sehr weit, d.h. bis auf die Ebene der Spezifizierung von Parametern vorbereitet. Dies impliziert, dass die motorische Programmierung durch wiederholte Bewegungsvorstellungen optimiert und dadurch auch die (spätere) Ausführung einer Bewegung verbessert werden kann. Starke Unterstützung erfährt die Annahme durch die schnell wachsende Anzahl neurowissenschaftlicher Untersuchungen, bei denen mit bildgebenden Verfahren die Gehirnaktivitäten von ausgeführten mit vorgestellten Bewegungen verglichen werden (im Überblick CRAMMOND, 1997). Generell zeigt sich, dass die „Überschneidungsfläche“ aktivierter Gehirnregionen jeweils sehr hoch ist. In neuerer Zeit konnte vor allem nachgewiesen werden, daß bei Bewegungsvorstellungen auch der primäre motorische Cortex (M1) aktiviert wird (vgl. SCHNITZLER u.a., 1997). Für eine Reihe von Autoren (MACKAY, 1981; HEUER, 1985; JEANNEROD, 1994) ergibt sich die Folgerung, dass die Bewegungsvorstellung hinsichtlich der zentralen Programmierung einer tatsächlich ausgeführten Bewegung äquivalent ist und der Unterschied lediglich darin besteht, dass im Gegensatz zur ausgeführten Bewegung bei der bloßen Bewegungsvorstellung die efferenten Kommandos auf ihrem Weg zur Körperperipherie gehemmt werden.

Insgesamt finden sich jedoch nur wenige direkte Belege dafür, dass mentales Üben einer Bewegung eine Modifikation der motorischen Programmierung bewirkt. Zwei theoretische Annahmen bieten sich aber zumindest als Ausgangspunkt für entsprechende Untersuchungen an.

Der *Übungsannahme* nach kommt es durch wiederholte Bewegungsvorstellungen zu einem „Einschleifen“ eines Motorikprogramms, wie es auch beim physischen Üben stattfindet. Die Zunahme der isometrischen Maximalkraft durch mentale Übung, ein Effekt, den YUE und COLE (1992) nachweisen, lässt sich dahingehend interpretieren. Die mental übende Gruppe, die sich maximale Willkürkontraktionen vorstellt, erzielt im Verlauf von 20 Übungssitzungen (mit je 15 Ausführungen) einen Kraftzuwachs von 22%, der den einer aktiv übenden Gruppe (29%) fast erreicht und die marginalen Zugewinne einer nicht übenden Kontrollgruppe (3%) weit überschreitet. Unterstellt man, dass „kognitive Anteile“ an Leistungszugewinnen bei der untersuchten Aufgabe (Abduktion des kleinen Fingers gegen einen unüberwindlichen Widerstand) vernachlässigbar sind, dann bleibt als Erklärung für diesen Effekt nur die verbesserte neuronale Aktivierung der beteiligten Muskulatur, d.h. eine Anpassung des motorischen Programms.

Diese Erklärung greift jedoch nur für Aufgaben, bei denen leistungsrelevante Bewegungsmerkmale einem Maximaltrend folgen (maximale Geschwindigkeit, maximale Kraft). Die Übungsannahme erklärt nicht, wie mentale Übung bei Bewegungsaufgaben wirkt (z.B. bei den häufig untersuchten Zielbewegungen), bei denen einzelne Parameter zu optimieren sind und die ohne Ergebnismeldung nicht gelernt werden können.

Die Annahme einer direkten Anpassung der zentralen Bewegungsprogrammierung lässt sich jedoch auch für solche Aufgaben aufrechterhalten, wenn mit der Programmierung gleichzeitig eine interne Schätzung des Bewegungsergebnisses stattfindet (Antizipationsannahme). Viele Theorien zum motorischen Lernen postulieren die Existenz einer solchen Komponente, mit deren Hilfe distale Effekte einer Bewegung, d.h. die Bewegungsergebnisse in der Umwelt (z.B. Ziel getroffen bzw. verfehlt), antizipiert werden (ANOCHIN, 1967; HOFFMANN, 1993; JORDAN und RUMELHART, 1992; VON HOLST und MITTELSTAEDT, 1950). Die Lernleistung ist dabei von der Genauigkeit dieser „internen Ergebnisschätzung“ abhängig. Kann etwa bei einem nur in der Vorstellung ausgeführten Dartwurf hinreichend genau vorgestellt werden, wohin der Pfeil getroffen hätte, dann sollte die intern bereitgestellte Information über die Zielabweichung zur Korrektur der nachfolgenden Programmierung genutzt werden können. Entsprechend dieser Annahme sollte das mentale Üben vergleichbare Effekte zeigen wie das tatsächliche Ausführen, bei dem jedoch keine externe Information über das Bewegungsergebnis zur Verfügung steht. MENDOZA und WICHMAN (1978) haben eine entsprechende Untersuchung beim Dartwerfen durchgeführt. Sie verglichen die Leistungsverbesserungen einer Gruppe mit physischer Übung, einer Kontrollgruppe ohne Übung, einer Gruppe mit mentaler Übung sowie einer Gruppe, die physisch, aber ohne Ergebnisrückmeldung übte. Unter der letztgenannten Bedingung sollten sich die Vpn den Wurf vorstellen und dabei die Wurfbewegung imitieren (allerdings ohne Dart). Nach sechs Übungstagen wird deutlich, dass physische Übung den anderen drei Bedingungen überlegen ist. Mentales Üben und physisches Üben ohne Ergebnisrückmeldung führen zu vergleichbaren Verbesserungen und beide Gruppen haben größere Zugewinne als die Kontrollgruppe (s. Abb. 1).

Dieses Ergebnismuster - mentale Übung wirkt ähnlich wie aktives Üben ohne Rückmeldung - kann als Hinweis dafür verstanden werden, dass beim mentalen Üben intern bereitgestellte Fehlerinformation verarbeitet wird (vgl. HEUER, 1985) und somit auch motorische Pfade genutzt werden.

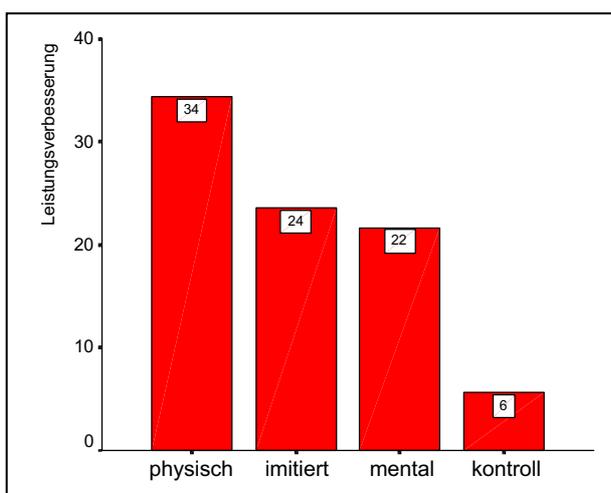


Abb. 1: Ergebnis der Dartsuntersuchung von MENDOZA und WICHMAN, 1978.

Zwei methodische Einwände sind hinsichtlich dieser Interpretation allerdings zu berücksichtigen. Der erste bezieht sich auf die Gruppe, die die Wurfbewegung imitiert. Das für die nur angedeutete Bewegung aufgerufene Programm sollte eigentlich ein anderes sein als dasjenige für einen vollständigen Wurf, da das Abwerfen des Pfeils gar nicht realisiert wird. Es wäre daher sinnvoll, wenn auch unter dieser Bedingung tatsächlich geworfen wird, wobei die Vpn jedoch keine Kenntnis über das Wurfergebnis erlangen dürfen. Der zweite Kritikpunkt betrifft die Kontrollgruppe. Es ist dann plausibel, die Verbesserungen der mental übenden Gruppe als Programmierungseffekt zu interpretieren, wenn bewegungsunspezifische Effekte ausgeschlossen werden können. Dies ist hier aber nicht der Fall. Denn neben dem Üben der eigentlichen Wurfbewegung werden die Treatmentgruppen im Gegensatz zur Kontrollgruppe auch mit der Wurfsituation als solcher vertraut. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die Verbesserungen dadurch erreicht werden, dass für die Aufgabenlösung wichtige räumliche Konstellation (z.B. die Distanz Ziel/Werfer) immer genauer erfasst werden.

Ziel der im folgenden beschriebenen Untersuchung war es, unter Berücksichtigung der genannten Kritikpunkte die Ergebnisse von MENDOZA und WICHMAN zu replizieren.

2 Methodik

Versuchsplan

Eine Möglichkeit, Wirkungsmechanismen mentalen Trainings zu differenzieren, besteht darin, durch entsprechende Lernbedingungen dafür zu sorgen, dass kognitive bzw. motorische Prozesse in spezifischer Weise angesprochen werden. Dadurch sollten die eingangs genannten Repräsentationen in unterschiedlicher Weise ausgebildet werden. Dies kann durch die systematische Variation der für die Vpn zur Verfügung stehenden bewegungsbegleitenden Information bzw. der Information über das Bewegungsergebnis erreicht werden. Es wurden daher – analog dem Versuchsplan von MENDOZA und WICHMAN (1978) – vier Lernbedingungen (*aktiv, aktiv ohne Rückmeldung, mental, Kontrol*) eingeführt.

Die Trefferleistung wurde einmal vor Beginn der Übungsphase (Vortest), unmittelbar danach (Nachttest) sowie am darauffolgenden Tag (Behaltenstest) erfasst. Damit ergibt sich ein zweifaktorieller Versuchsplan mit dem vierfach gestuften Faktor „Übungsbedingung“ [*aktiv, aktiv ohne Rückmeldung, mental, Kontrol*] und dem dreifach gestuften Messwiederholungsfaktor „Messzeitpunkt“ (*Vortest, Nachttest, Behaltenstest*).

Als abhängige Variable wird für jede Testserie der mittlere absolute Fehler berechnet. Der Wert gibt an, um wieviel Millimeter das Ziel im Mittel einer Wurfserie verfehlt wird und zwar unabhängig von der Richtung der Abweichung. Zusätzlich wurde auch der bivariate Fehler berechnet. Der hierbei berücksichtigte mittlere Treffpunkt einer Serie bringt allerdings keinen weiteren Informationsgewinn – die

beiden Maße korrelieren zu allen drei Messzeitpunkten sehr hoch (alle $r > .92$; $n = 38$) – weshalb in der Ergebnisdarstellung nur der absolute Fehler berichtet wird.

Unabhängige Variable (Versuchsgruppen)

Die Aktiv-Gruppe (*aktiv*) übte den Dartwurf physisch. Die Gruppe „aktiv ohne Rückmeldung“ (*aktiv-ohne*) übte ebenfalls physisch-aktiv, hatte jedoch keine Rückmeldung über den Treffpunkt des Pfeils. Die mentale übende Gruppe (*mental*) war aufgefordert, sich den Wurf möglichst lebendig vorzustellen, dabei jedoch keine Bewegung auszuführen, den Wurf also auch nicht zu imitieren. In einem Vortraining wurde die mentale Trainingsform eingeübt und anhand von Vorstellungsaufgaben sichergestellt, dass Bewegungsvorstellungen gezielt hervorgerufen werden konnten. Die Kontrollgruppe (*Kontrol*) sollte wie die Treatmentgruppen ebenfalls mit der Wurfsituation vertraut werden können, ohne allerdings den Dartwurf zu üben. Sie hatte in der Übungsphase die Aufgabe, mit einem Laserpointer die Mitte der Dartscheibe anzuleuchten. Dabei sollte während eines Armschwunges (ähnlich einem Unterhandwurf) der Pointer einmal kurz aufleuchten, wozu mit dem Daumen eine kleine Taste gedrückt werden musste.

Ablauf der Untersuchung

In der Übungsphase führte jede Vp an vier Tagen innerhalb einer Woche jeweils 126 Würfe, also insgesamt 504 Übungswürfe aus. Die Vpn waren angehalten jeden Wurf neu „anzusetzen“. Dies wurde durch einen Wechsel der Wurfdistanzen unterstützt (s. Abb. 2). Die Vpn warfen aus drei unterschiedlichen Entfernungen (160 cm [nah], 200 cm [mittel], 280 cm [weit]) jeweils eine 3er-Serien. Dadurch war die Parametrisierung der Würfe ständig neu anzupassen.

In den Testserien wurde zuerst eine Serie von 15 Würfeln der Transferbedingung und daran anschließend eine Serie von 15 Würfeln der geübten Bedingung (nah) erfasst.

Der zeitliche Ablauf der Untersuchung ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

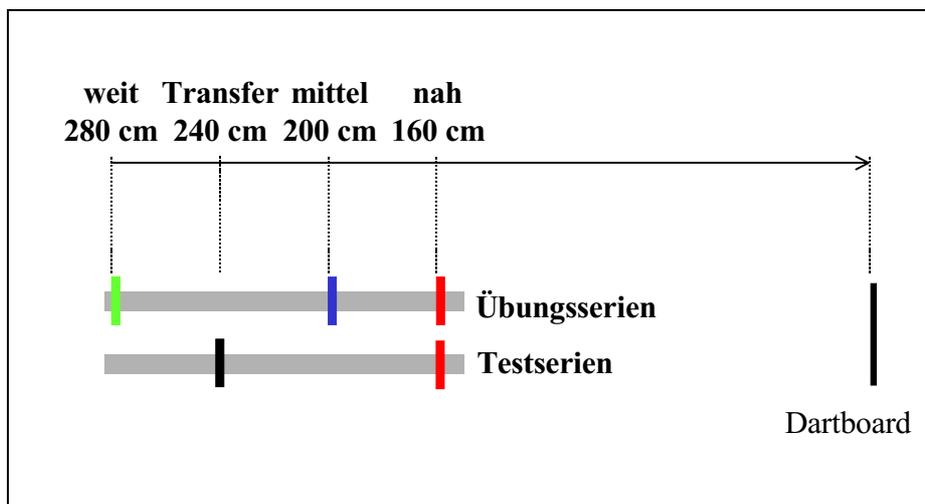


Abb. 2: Wurfentfernungen in Test- und Übungsserien.

Tab. 2: Zeitlicher Ablauf der Untersuchung

1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
Vortest (transfer, nah)	Üben 2 (126 W.)	Üben 3 (126 W.)	Üben 4 (126 W.)	Behaltenstest (transfer, nah)
Üben 1 (126 W.)			Nachtest (transfer, nah)	

Versuchspersonen

40 rechtshändige und hinsichtlich der Zielwurfaufgabe ungeübte erwachsene Versuchspersonen, in der Mehrzahl Studierende der Universität Giessen, wurden randomisiert auf die vier Gruppen verteilt (n= 10).

Versuchsaufbau

Es wurde auf ein Standarddartboard geworfen. Die unterschiedlichen Wurfabstände waren am Boden durch Linien markiert. Für die Gruppe *physisch-ohne* wurde die Information über den Treffpunkt des Pfeils mit Hilfe einer speziellen Brille (*System Plato*; MILGRAM, 1987) unterbunden. Über einen elektrischen Schaltkreis kann verzögerungsfrei zwischen den beiden Zuständen „transparent“ (offen) und „milchig-trüb“ (geschlossen) gewechselt werden. Das Schließen der Brille erfolgte zum Zeitpunkt des Abwurfs. Dies wurde dadurch realisiert, dass über zwei dünne Drähte, die zu Daumen und Zeigefinger der Wurfhand führten, während der Kontaktphase über den Pfeil ein Stromkreis geschlossen wurde. Mit dem Loslassen des Pfeils wird dieser unterbrochen und so das Signal für das Schließen der Brille gegeben. Um für alle Gruppen gleiche Situationsbedingungen zu schaffen, trugen alle Vpn sowohl in den Test- wie auch in den Übungsserien die Platobrille.

3 Ergebnisse

Ergebnisse der Übungsbedingung

In Abb. 3 ist die prozentuale Veränderung des absoluten Fehlers vom Vortest zum Nachtest (rot) bzw. zum Behaltenstest (grün) dargestellt. Es wird deutlich, dass alle Gruppen den Fehler zu den beiden Nachtests verringern. Dieser Messwiederholungseffekt wird signifikant ($F_{(2,68)} = 17.9, p < .001$).

Im Vergleich der Gruppen erzielten die *physisch* übenden Vpn die größten Verbesserungen und zwar sowohl im Nachtest als auch im Behaltenstest. Während zum Nachtest die Gruppe *aktiv-ohne* im Vergleich zur mental übenden Gruppe noch größere Leistungszugewinne hat, ist dieser Unterschied zum Behaltenstest verschwunden. Überraschend und bemerkenswert sind die deutlichen Verbesserungen der Kontrollgruppe, die – von einem etwas schlechterem Ausgangsniveau startend – annähernd das Niveau der Gruppen *mental* bzw. *aktiv-ohne* erreicht (s. Tab.

3). Relativiert an der Ausgangsleistung hat sie bezogen auf den Behaltenstest sogar etwas größere Zugewinne.

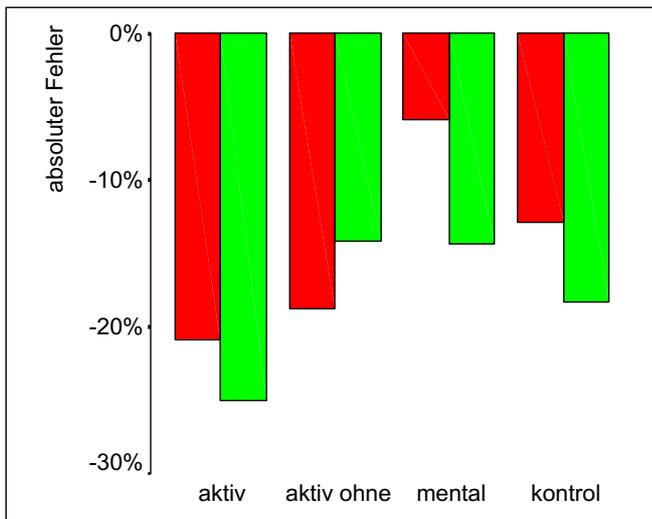


Abb. 3: Absoluter Fehler unter der Übungsbedingung. Dargestellt ist die mittlere prozentuale, d.h. an der Vortestleistung relativierte Verringerung des Fehlers vom Vortest zum Nachtest (rot) bzw. vom Vortest zum Behaltenstest (grün). Die zugrunde liegenden Daten sind in Tabelle 2 dokumentiert. Negative Werte bedeuten eine Zunahme der Treffergenauigkeit.

Allerdings bleiben diese Gruppenunterschiede statistisch unbedeutsam. Weder der Haupteffekt „Gruppe“ ($F_{(3,34)} = .92, p = .44$), noch die Interaktion „Gruppe x Messwiederholung“ ($F_{(6,68)} = .44, p = .73$) werden signifikant.

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen des absoluten Fehlers der Gruppen unter den beiden Testbedingungen.

	Übungsbedingung			Transferbedingung				
		Vortest	Nachtest	Behalten	Vortest	Nachtest	Behalten	
physisch <i>n=10</i>	x	51,1	39,4	38,4	x	68,5	60,5	59,3
	s	14,2	8,0	13,9	s	17,6	12,9	9,6
physisch ohne <i>n=10</i>	x	58,8	47,3	50,5	x	75,6	71,8	67,9
	s	15,7	18,9	18,4	s	30,2	23,5	20,0
mental <i>n=9</i>	x	53,6	49,8	45,5	x	75,4	63,1	57,8
	s	19,5	18,8	17,9	s	27,0	14,6	18,8
kontrol <i>n=9</i>	x	60,8	53,3	48,1	x	78,5	70,8	63,0
	s	19,4	23,1	15,0	s	31,3	26,2	23,2

Ergebnisse der Transferbedingung

In der Transferbedingung sind die Fehlerwerte aufgrund der größeren Entfernung (und der ungewohnten Wurfdistanz) insgesamt höher (s. Tab. 2). Wenn auch im

Vergleich zur Übungsbedingung etwas abgeschwächt, so verringern die Gruppen auch bei der nicht geübten Testbedingung den absoluten Fehler. Der Messwiederholungseffekt wird wiederum signifikant ($F_{(2,66)} = 8.15, p = .001$). Anders als in der Übungsbedingung weist in der Transferbedingung die mental übende Gruppe und die Kontrollgruppe im Behaltenstest sogar geringfügig größere prozentuale Reduzierungen des Fehlers auf als die beiden physisch übenden Gruppen. Der Haupteffekt „Gruppe“ wie auch die Interaktion „Gruppe x Messwiederholung“ bleiben allerdings unbedeutend.

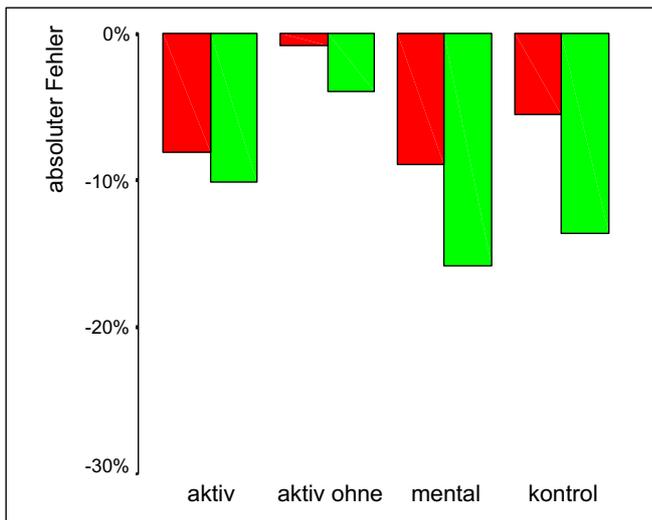


Abb. 4: Absoluter Fehler unter der Übungsbedingung. Erläuterungen siehe Abb. 3.

4 Diskussion

Im Rahmen der Programmierungshypothese zum mentalen Bewegungsklernen wird die Annahme formuliert, dass die Wirkung mentaler Übung auf der Verarbeitung interner Fehlerinformation beruht (HEUER, 1985). Diese Annahme wird durch Ergebnisse gestützt, die zeigen, dass mentales Fertigkeitstraining zu vergleichbaren Leistungszugewinnen führt wie das aktive Üben unter Ausschluss von externem Feedback (MENDOZA und WICHMAN, 1978). Ziel der hier vorgestellten Untersuchung war es, die Ergebnisse von MENDOZA und WICHMAN mit einer modifizierten Versuchsanordnung zu replizieren. Insgesamt betrachtet lässt sich deren Ergebnismuster durch unsere Daten nicht bestätigen. Bei vergleichbarer Anzahl von Übungsversuchen zeigt sich in der Übungsbedingung nur eine tendenzielle Überlegenheit der *aktiv übenden* Gruppe gegenüber den anderen Gruppen. Auch unterscheiden sich die mental übende Gruppe und die Gruppe *physisch ohne Rückmeldung* nicht von der Kontrollgruppe.

Dabei ist hervorzuheben, dass die erwarteten Unterschiede beim hier untersuchten Zielwurf nicht deshalb nicht deutlich werden, weil die Lernbedingungen prinzipiell

nicht geeignet wären Verbesserungen zu erzielen. In allen Nachttests zeigen sich signifikante Lernfortschritte, nur bleiben die spezifischen Gruppeneffekte aus. Erstaunlich sind vor allem die vergleichsweise hohen Zugewinne der Kontrollgruppe. Anders als bei MENDOZA und WICHMAN (1978) hatte unsere Kontrollgruppe die Möglichkeit, mit der Wurfsituation vertraut zu werden. Sie konnten mit einer anderen Bewegung als dem Dartwurf das Anzielen der Scheibenmitte üben. Offensichtlich kann die Gruppe allein dadurch für das Lösen der Aufgabe relevante Merkmale lernen und ähnliche Leistungsverbesserungen wie die Treatmentgruppen erreichen. Dies bedeutet aber auch, dass die Verbesserungen der *mental übenden Gruppe* und der *Gruppe ohne Rückmeldung* nicht notwendigerweise auf der internen Ergebnisschätzung und der Verarbeitung von Fehlerinformation beruhen müssen. Die Ergebnisse legen eher nahe, dass diese Leistungsfortschritte ebenfalls zu großen Teilen durch bewegungsunspezifische Faktoren bewirkt wurden. So betrachtet kann das Ergebnis nicht als Beleg für die Programmierungshypothese herangezogen werden, wenn auch die Hypothese damit nicht gänzlich auszuschließen ist. Die Vorstellung, dass mentale Übung von Bewegungsfertigkeiten auch eine motorische Komponente beinhaltet, ist daher weiterhin als zu prüfende Hypothese zu betrachten.

Zur Untersuchung bewegungsprogrammierender Mechanismen beim mentalen Üben sollen im weiteren Aufgaben verwendet werden, die maximale Krafteinsätze erfordern. Solche Aufgaben eignen sich von daher besonders, als hier Leistungsgewinne durch die Verbesserung „kognitiver Repräsentation“ sehr gering sein dürften und die Programmierung-Hypothese sozusagen in „Reinform“ untersucht werden kann. Effekte von Vorstellungen maximaler Willkürkontraktionen auf die Maximalkraft wären kaum anders als Veränderung der muskulären Aktivierung und somit als Anpassung der zentralen Programmierung zu interpretieren.

Literatur

- Anochin, P. K. (1967). Das funktionelle System als Grundlage der physiologischen Architektur des Verhaltensaktes. Jena: Fischer.
- Crammond, D. J. (1997). Motor imagery: never in your wildest dream. *Trends in Neuroscience*, 20, 54-57.
- Driskell, J. E., Copper, C., & Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology*, 79, 481-492.
- Feltz, D. L., & Landers, D. M. (1983). The effects of mental practice on motor skill learning and performance: A meta-analysis. *Journal of Sportpsychology*, 5, 25-57.
- Heuer, H. (1985). Wie wirkt mentale Übung? *Psychologische Rundschau*, 36, 191-200.
- Hoffmann, J. (1993). Vorhersage und Erkenntnis. Göttingen: Hogrefe.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 187-245.
- Jordan, M. I., & Rumelhart, D. E. (1992). Forward models: Supervised learning with a distal teacher. *Cognitive Science*, 16, 307-354.
- MacKay, D. G. (1981). The problem of rehearsal or mental practice. *Journal of Motor Behavior*, 13, 274-285.
- Mendoza, D., & Wichman, H. (1978). "Inner" Darts: effects of mental practise on performance of Dart throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 1195-1199.

- Milgram, P. (1987). A spectacle-mounted liquid-crystal tachistoscope. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 19, 449-456.
- Schmidt, R. A. & Lee, T.D. (1999). *Motor Control and Learning*. Champaign (Ill.): Human Kinetics.
- Schnitzler, A., Salenius, S., Salmelin, R., Jousmäki, V., & Hari, R. (1997). Involvement of primary motor cortex in motor imagery: A neuromagnetic study. *Neuroimage*, 6, 201-208.
- von Holst, E., & Mittelstaedt, H. (1950). Das Reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften*, 37, 464-476.
- Yue, G., & Cole, K. J. (1992). Strength increases from the motor program: Comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67, 1114-1123.