

Die Wirksamkeit des Übens bewusster Bewegungseffekt- Antizipation

Stefan Künzell

Universität Gießen

Zusammenfassung. Die Theorie der internen Modelle besagt, dass gleichzeitig mit der Bewegung durch ein Vorwärtsmodell auch eine Vorhersage des durch die Bewegung bewirkten Effekts gebildet wird. Darüber hinaus wird angenommen, dass die Größe des Lernfortschritts mit der Güte des Vorwärtsmodells positiv zusammenhängt. In diesem Beitrag wird überprüft, ob beim Dartwerfen ein gezieltes Training der Antizipation des Treffpunkts ohne visuelle Rückmeldung einen positiven Effekt auf die Treffleistung zeigt. In Experiment 1 absolvierten 6 geübte Darter einer Treatmentgruppe ein 12-wöchiges Training mit insgesamt 1560 Würfeln. Nach jedem dritten Wurf, unmittelbar nach dem Loslassen des Pfeils, wurde ihnen dabei die Sicht genommen. Sie mussten antizipieren, wo der Pfeil gelandet war, danach erhielten sie visuell Rückmeldung. 7 Vpn der Kontrollgruppe warfen ohne die Antizipationsaufgabe. Vom Vor- zum Nachtest konnte die Treatmentgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe ihre Antizipationsleistung signifikant verbessern. Bei der Treffleistung zeigten sich hingegen keine signifikanten Unterschiede. In Experiment 2 trainierten 9 Novizen wie in Experiment 1, nur dass Vpn der Treatmentgruppe schon vor dem Abwurf eines jeden dritten Wurfs die Sicht genommen wurde. Dabei kam es sowohl in der Kontroll- als auch in der Treatmentgruppe zu signifikanten Verbesserungen sowohl der Antizipations- als auch der Treffleistung. Ein signifikanter Vorteil der Treatmentgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe blieb allerdings auch hier aus. Die Resultate zeigen, dass ein Training des bewussten Antizipierens der Bewegungsergebnisse beim Dartwerfen keinen Vorteil für das Verbessern der Treffleistung bringt. Die Adaptation des Vorwärtsmodells geschieht vermutlich durch implizites Lernen.

Schlüsselwörter: Techniktraining, motorisches Lernen, interne Modelle, ballistische Bewegung, Zielgenauigkeit, Antizipation

The effectiveness of the practice of conscious anticipation of movement outcomes

Abstract. Internal model theory states that, while a movement is performed, a forward model simultaneously generates an anticipation of its effects. It also assumes that the learning rate will correlate positively with the correctness of this forward model. The present study examined whether training the anticipation of the landing point in dart throwing would lead to an improvement in hitting the target. In Experiment 1, six skilled dart players trained with a total of 1,560 throws over a 12-week period. After each third throw, vision was masked immediately following the release moment, and participants had to anticipate where the dart would hit the target. They then received visual feedback. Seven control participants threw without the anticipation task. Results showed that, compared with controls, the treatment group significantly enhanced their anticipation performance from pre- to posttest. However, hitting performance did not improve. In Experiment 2, nine beginners were trained under similar conditions. However, their vision was masked before every third throw. Results showed that both treatment and control groups improved their anticipation as well as their hitting performance, and no advantage could be found for the treatment group. It is concluded that training a conscious anticipation of the movement outcome in dart throwing does not enhance hitting performance, and that the adaptation of the forward model is probably an outcome of implicit learning.

Key words: motor skill training, motor learning, internal models, ballistic movement, targeted precision, effect anticipation

Antizipatives Üben

Die Theorie der internen Modelle zum motorischen Lernen postuliert die Existenz eines Vorwärtsmodells,

Die vorliegende Arbeit wurde finanziell unterstützt vom Bundesinstitut für Sportwissenschaft unter der Fördernummer VF 0407/6/08/02.

mit dessen Hilfe die Effekte der Efferenzen unter den gegebenen Umweltbedingungen antizipiert werden. In der Sportwissenschaft stellt sich die Frage, in wie weit das gezielte Üben des Vorwärtsmodells zu einer Verbesserung der Lernprozesse führt. Dies soll in diesem Beitrag untersucht werden.

„Antizipatives Üben“ wird hier definiert als Üben der Vorhersage des durch die Bewegung erreichten

Effekts unter ausschließlicher Verwendung von Informationen, die *vor* dem Eintreffen des Bewegungseffekts verfügbar sind. Dies ist nur möglich, wenn der Effekt einer Bewegung zeitlich erst nach der Ausführung der Bewegung erreicht wird. Darüber hinaus müssen Rückmeldungen über den Effekt der Bewegung zum Zeitpunkt des Eintreffens des Effekts verhindert werden. Die Antizipation des Bewegungseffekts soll erlernt werden, in dem der Effekt der Bewegung vorhergesagt wird und die Vorhersage dann mit dem tatsächlichen Effekt verglichen werden kann.

Abgegrenzt werden muss das antizipative Üben vom Üben der Selbsteinschätzungscompetenz (vgl. Panzer, 2000). Bei letzterem können durchaus Informationen während und nach dem Erreichen des Bewegungseffekts zur Selbsteinschätzung verwendet werden. Es wird lediglich dafür gesorgt, dass die zu übende Dimension des Bewegungseffekts nicht direkt zurückgemeldet wird, sondern auf Grund anderer, bewegungsbegleitender Rückmeldungen geschätzt wird. Der Bewegungseffekt muss also nicht antizipiert werden.

Aktuelle Theorien und experimentelle Paradigmen zum menschlichen Lernen betonen den Zusammenhang zwischen einer Handlung und der auf sie folgenden Effekte in der Umwelt (z.B. Hoffmann, 1993). Zahlreiche Experimente legen nahe, dass nicht nur die Verbindung von Reiz und Reaktion gelernt wird – dass also die Handlung nicht aus der Kenntnis der aktuellen Reizkombination vorhergesagt werden kann – sondern dass es die antizipierten Effekte einer Handlung sind, mit denen sowohl die spezifischen Reize als auch die spezifische Reaktion verbunden werden (z.B. Hommel, 1993, 1996; Nattkemper & Prinz, 1997; Ziessler, 1998). Hoffmann (1993) argumentiert aus evolutionärer Perspektive, dass die Antizipation dessen, was in der Umwelt geschehen wird, Handlungssicherheit schafft und Überlebensvorteile mit sich bringt. Es ist daher plausibel anzunehmen, dass es eine Komponente gibt, die bei gegebener Umweltsituation die distalen Effekte der Bewegungshandlung vorhersagt.

Aus der Sicht der kybernetischen Kontrolltheorie ist die Produktion einer schnellen, ballistischen Bewegung, die ein intendiertes Ziel zur Konsequenz haben soll, der Entwurf eines Reglers für die Vorwärtssteuerung einer unbekannten Strecke. Ein Lösungsansatz ist dabei, zunächst ein Modell der unbekannten Strecke zu entwickeln, das in den wesentlichen Punkten das gleiche dynamische Ein- und Ausgabeverhalten zeigt wie die Originalstrecke. Die Steuerung der Originalstrecke wird dann zuerst an dem Modell erprobt, dessen Dynamik nun nicht mehr unbekannt ist (Narendra & Annaswami, 1989). Diesen Ansatz haben zuerst Jordan und Rumelhart (1992) auf die

Steuerung und das Erlernen menschlicher Bewegungen übertragen. Dabei postulieren sie die Existenz eines Vorwärtsmodells, das die unbekannte Dynamik des menschlichen Bewegungsapparats – oder genauer, der seine Bewegung bewirkenden Efferenzen – und der Umwelt repräsentiert, und eines inversen Modells, das die Abbildung zwischen dem aktuellen Zustand der Umwelt, dem intendierten Bewegungsergebnis und den Efferenzen modelliert. Das Vorwärtsmodell ist in dem Untersuchungszusammenhang interessant. Es bildet die Beziehung ab, welche Efferenzen unter welchen Bedingungen welche Effekte in der Umwelt haben. Eingangsgrößen sind der aktuelle Zustand der Umwelt sowie die eine Kopie der Efferenzen, die von dem inversen Modell produziert wird. Das Vorwärtsmodell muss dabei nicht explizit repräsentiert sein, sondern kann auch implizit, d.h. ohne dass sich der Bewegende darüber bewusst wird, verarbeitet werden. Nach Auffassung von Jordan und Rumelhart (1992) ist eine solche Repräsentation Voraussetzung für jedes motorische Lernen. Darauf aufbauend hat sich eine Vielzahl von Modellvorschlägen entwickelt (z.B. Coulom, 2002; Holland & Goodman, 2003; Imamizu, Kuroda, Miyauchi, Yoshioka & Kawato, 2003), die die Theorie der internen Modelle bilden. Jordan und Rumelhart (1992) zeigten, dass das Lernen von Zielbewegungen umso schneller geht, je besser das Vorwärtsmodell die Dynamik der tatsächlichen Bewegung und ihre Effekte modelliert. Durch antizipatives Üben soll speziell das Vorwärtsmodell verbessert werden, wodurch dann ein schnelleres Lernen des inversen Modells erwartet wird.

Hinweise auf die Wirksamkeit des antizipativen Übens für die Leistungsverbesserung ergeben sich aus Aussagen von Trainern im Spitzensport, die der perzeptiven Führung im Techniktraining eine besondere Bedeutung beimessen (vgl. Roth, 1996). In der Praxis des Leistungssports wird dem antizipativen Üben ein großes Potential zugetraut. Die Aufgabe, die nach Ansicht der Trainer die „perzeptive Führung“ der Technikausführung übernimmt, entspricht im Wesentlichen der Aufgabe des Vorwärtsmodells in der Theorie der internen Modelle. Allgemein formuliert geht es darum, dass gelernt wird, „welche Bewegungen unter welchen Bedingungen zu welchen Effekten führen“ (vgl. Hossner, 1996, S. 95).

Die Wirkung des antizipativen Übens wurde bisher nur selten empirisch überprüft. Henderson (1975) untersuchte die Antizipation des Dartwurfs ohne visuelle Rückmeldung des Ergebnisses. Er benutzte eine Lichtschranke, die die Beleuchtung in einem ansonsten verdunkelten Raum nach dem Wurf abschaltete, so dass keine visuelle Rückmeldung über das Ergebnis möglich war. Er untersuchte 7 Anfänger und 4 Experten, die jeweils 56 Würfe absolvierten. Das

Treatment war vergleichbar mit dem antizipativen Training aus dem hier durchgeführten Experiment. Eine Kontrollgruppe wurde nicht erhoben. Henderson berichtet eine signifikante Verbesserung der Anfängergruppe, während sich die Expertengruppe nicht verbesserte. Ob diese Verbesserung auf die Übungsmethode zurückgeführt werden kann ist aber wegen der fehlenden Kontrollgruppe nicht nachzuweisen.

In diesem Beitrag wird in zwei Laborexperimenten untersucht, ob das Trainieren mit antizipativen Übungsformen bei einer Zielgenauigkeitsaufgabe zu Verbesserungen in der Antizipations- und in der Treffleistung führt. Dabei wird die Idee von Henderson (1975) aufgegriffen, den Dartwurf zu untersuchen, wobei sowohl in der Methode als auch vor allem im Trainingsumfang Verbesserungen durchgeführt werden. Antizipatives Üben wird erreicht, in dem die visuelle Wahrnehmung des Bewegungsergebnisses unterbunden wird. Für die Antizipation des Treffpunkts des Dartpfeils können daher nur Informationen, die vor dem Auftreffen des Dartpfeils zur Verfügung stehen, verwendet werden. Dies sind propriozeptive und visuelle Rückmeldungen über den Beschleunigungsverlauf des Dartpfeils und Informationen über die Efferenzen, die über die Efferenzkopie zur Verfügung gestellt werden. Eine sinnvolle Verwendung akustischer Rückmeldung über den erreichten Bewegungseffekt kann ausgeschlossen werden, da die räumliche Auflösung beim Richtungshören zu ungenau ist.

Erwartetes Ergebnis der Untersuchung ist, dass erstens die antizipativ übende Treatmentgruppe ihre *Antizipationsleistung* im Vergleich zu einer Kontrollgruppe verbessert. Zweitens wird erwartet, dass sich dies auch in einer Verbesserung der *Treffleistung* niederschlägt, dass die antizipativ übende Treatmentgruppe also auch ihre Treffleistungen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe verbessert.

Sollte sich der vermutete Transfereffekt von der Antizipations- auf die Treffleistung einstellen, könnten für Sportarten, in denen die Zielgenauigkeit von kurzen, ballistischen, open-loop gesteuerten Bewegungen eine Rolle spielt, differenzierte Trainings- und Übungsprogramme zur Leistungsverbesserung abgeleitet werden.

Lernexperiment 1

In dem ersten Lernexperiment soll überprüft werden, ob durch antizipatives Üben eine Leistungsverbesserung von Sportlern erreicht werden kann, die sich auf einem so hohen Niveau befinden, dass sie durch ein einfaches Üben der Zielbewegung sich nicht mehr verbessern.

Methode

Versuchspersonen

50 Sportstudierende, die sich als gute Dartwerfer einschätzten, nahmen am Vortest (s. u.) teil. Die 14 besten Werfer (13 Männer, 1 Frau, alle mit rechter Wurfhand, mittleres Alter zu Testbeginn 24.5 Jahre, $SD = 1.7$ Jahre) wurden in eine Kontroll- und eine Treatmentgruppe aufgeteilt. Die Gruppen wurden an Hand der Vortestleistung parallelisiert (vgl. Abb. 2). Die Teilnahme an dem Versuch erfolgte freiwillig gegen eine Aufwandsentschädigung von 130 €, die die Datenaufnahme während der Treatmentphase mit einschloss.

Versuchsaufbau

Die Dartscheibe wurde in einer Höhe von 1.73 m, gemessen vom Zentrum der Scheibe (*bull's-eye*), aufgehängt. Die Abwurfmarke war vom Anfang der Scheibe 2.37 m entfernt. Dies sind die für internationale Vergleiche und Wettkämpfe vorgeschriebenen Maße. Das Dartboard wurde mit einem Papier überklebt, das in quadratische Felder von 1 cm Kantenlänge aufgeteilt war. Dieses überklebte Dartboard wird im Folgenden als Zielbrett bezeichnet.

Die Vpn der Treatmentgruppe trugen eine PLATO®-Brille (Milgram, 1987). Sie wurden mit zwei Telefonkabeln am Mittelfinger der Wurfhand so verdrahtet, dass sich beim Halten des Dartpfeils über dessen metallische Spitze ein Stromkreislauf schloss. Das Unterbrechen dieses Kreislaufs beim Abwurf erzeugte das elektrische Signal zum Schließen der PLATO®-Brille, welches dann in weniger als 7 ms erfolgte.

Aufgabe und abhängige Variablen

Alle Vpn warfen die Dartpfeile mit der Zielstellung, den Mittelpunkt des Zielbretts zu treffen. Vpn der Treatmentgruppe hatten zusätzlich die Aufgabe, nach jedem dritten Wurf den Treffpunkt ihres Dartpfeils ohne visuelle Rückmeldung möglichst genau zu antizipieren. Dazu setzten sie sich beim dritten Wurf die PLATO®-Brille auf, die sie bei den beiden vorangehenden Würfen auf die Stirn hoch gerückt hatten. Erst nach der Antizipation erhielten sie visuelle Rückmeldung über den tatsächlichen Treffpunkt des Dartpfeils. Auf ein Ausschalten der akustischen Rückmeldung wurde verzichtet. Die Genauigkeit des horizontalen Richtungshörens von 3° (Birbaumer & Schmidt, 1996, S. 415) entspricht bei der vorgegebenen Entfernung einer Auflösung von 12.4 cm in der Horizontal-

len. Beim vertikalen Richtungshören fällt die Erkennung über Lautstärke- und Zeitunterschiede weg, so dass sie vermutlich deutlich unter der Genauigkeit des horizontalen Richtungshörens liegt, Schwellenwerte sind hier aber nicht bekannt.

Abhängige Variablen sind die Wurfleistung und die Antizipationsleistung. Die Wurfleistung wurde gemessen als die Distanz zwischen dem Treffpunkt des Dartpfeils und *bull's-eye*. Sie wurde ermittelt als die Wurzel der Abweichungsquadrate des Treffpunkts auf der Horizontal- und Vertikalachse vom Nullpunkt. Die Antizipationsleistung wurde gemessen als die Wurzel der Quadratsummen der Distanzen auf den beiden Achsen zwischen dem Treffpunkt des Dartpfeils und der Antizipation des Treffpunkts. Die Treff- und Antizipationsleistung wurde für jede Vp aus dem jeweiligen arithmetischen Mittel aller Würfe bestimmt. Würfe neben das Zielbrett wurden nicht in die Mittelwertbildung einbezogen.

Design und Durchführung

Das vorliegende Experiment folgt dem klassischen Design der Lernexperimente. Nach einem Vortest, in der die Treff- und die Antizipationsleistung erhoben wurden, folgte eine Treatmentphase, in der die Treatmentgruppe antizipativ übte und die Kontrollgruppe eine gleiche Anzahl von Würfeln ohne antizipatives Üben durchführte. Im Anschluss erfolgte für alle Vpn ein Nachtest und zwei Monate später ein Behaltenstest. Vor-, Nach- und Behaltenstest waren identisch.

In den Tests warfen die Vpn zunächst 16-mal drei Pfeile auf das Zielbrett, also insgesamt 48 Würfe. Das jeweilige Trefffeld wurde vom Versuchsleiter mit dem PC protokolliert. Anschließend wurden die Vpn verkabelt und setzten sich die PLATO®-Brille auf. Sie warfen einen Pfeil auf das Zielbrett, das Trefffeld wurde vom Versuchsleiter mit dem PC protokolliert und der Pfeil entfernt. Daraufhin wurde die Brille auf durchsichtig geschaltet und die Vpn zeigten auf dem Zielbrett das von ihnen antizipierte Trefffeld. Auch dieses wurde vom Versuchsleiter protokolliert. Diese Prozedur wurde 24-mal durchgeführt.

Die Vpn trainierten immer zu zweit. Während eine Vp trainierte, protokollierte die andere am PC auf einer Eingabemaske die Ergebnisse. Danach wurden die Rollen getauscht. Die Gesamtzeit für eine Sitzung sollte 1½ Stunden nicht überschreiten. In den ersten fünf Sitzungen wurden von jeder Vp 96 Würfe absolviert, in den darauf folgenden 14 Sitzungen jeweils 120 Würfe. Das Treatment ging über acht Wochen mit jeweils 2 Sitzungen pro Woche. Die Anzahl der Würfe in der Treatmentphase betrug also $96 \times 5 + 120 \times 9 = 1560$.

Nach jeweils einem Block von einem Dutzend Würfeln wurde den Vpn die mittlere Leistung des Blocks mitgeteilt. Der beste Block des Tages wurde auf einem aushängenden Zettel notiert. So konnten die Vpn ihre Ergebnisse mit ihren Vorleistungen, aber auch den Leistungen der anderen Vpn vergleichen, was eine positive Auswirkung auf die Motivation hatte.

Ergebnisse

Die Auswertung der Daten ergab, dass sich bei genau einer Vp der Treatmentgruppe die Antizipationsleistung nicht verbessert hatte. Auf nachträgliches Befragen gab sie an, schon vor dem Experiment zu Trainingszwecken häufig blind geworfen zu haben und das Ergebnis zu antizipieren, also quasi selbst antizipatives Training durchgeführt zu haben. Sie wurde nachträglich von der Auswertung ausgeschlossen.

Alle Daten wurden mit einer 3×2 -Varianzanalyse mit dem 3-fach gestuften Messwiederholungsfaktor Messzeitpunkt und dem 2-fach gestuften Faktor Gruppe ausgewertet. Bei Verletzung der Homogenitätsvoraussetzung wurden die Freiheitsgrade nach Huynh-Feldt korrigiert.

Antizipationsleistung

Voraussetzung für die Wirksamkeit antizipativen Trainings ist eine Verbesserung der Antizipationsleistung. Die Veränderungen der Antizipationsleistungen im Vor-, Nach- und Behaltenstest wird in Abbildung 1 veranschaulicht. Es zeigt sich, dass sich die Treatmentgruppe vom Vortest zum Nachtest und dem Behaltenstest verbessert, während dies für die Kontrollgruppe nicht der Fall ist. Die Verbesserung der Antizipationsleistung im Vergleich zwischen den Gruppen (Messzeitpunkt \times Gruppe) ist signifikant und bedeutsam ($F(1.4, 15.1) = 4.37, p = .044, \eta^2 = .28$). Ein Vergleich der Mittelwerte zum Zeitpunkt des Nachtests erfolgt mit dem *U*-Test von Mann-Whitney, da die Voraussetzungen für einen *t*-Test nicht gegeben sind. Er zeigt einen signifikant besseren Wert der Treatmentgruppe (Mann-Whitney-*U* = 3, einseitige exakte Signifikanz $p = .004$). Im Retentionstest wird die Signifikanz nur knapp verfehlt (Mann-Whitney *U* = 9, einseitige exakte Signifikanz $p = .051$).

Treffleistungen

Die Treffleistungen werden durch Mittelwerte der Distanzen vom *bull's-eye* berechnet. Die Ergebnisse der Treffleistung werden in Abbildung 2 veranschau-

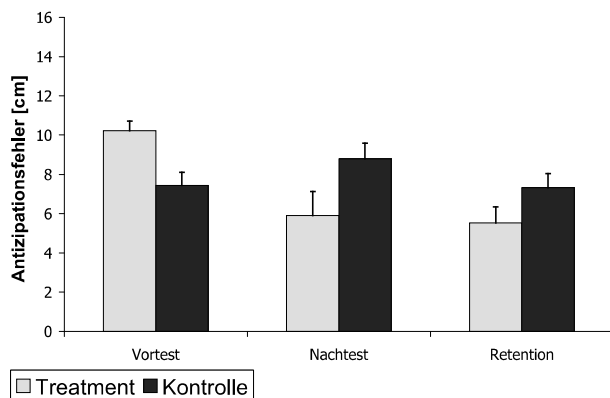


Abbildung 1. Mittlerer Antizipationsfehler und Standardabweichung der geübten Darter bei den 24 Würfeln mit PLATO®-Brille in Vortest, Nachtest und im Retentionstest

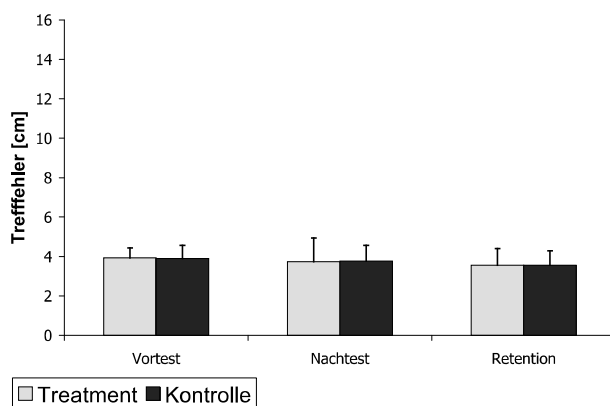


Abbildung 2. Mittlerer Trefffehler und Standardabweichung der geübten Darter bei 48 Würfeln ohne PLATO®-Brille in Vortest, Nachtest und im Retentionstest

licht. Zu erkennen ist eine geringfügige, statistisch nicht signifikante und auch nicht bedeutsame Verbesserung der Treffleistung vom Vortest zum Nachtest und zum Behaltenstest ($F < 1$). Es kann festgestellt werden, dass auf hohem Niveau weder durch einfaches Werfen (Kontrollgruppe) noch durch antizipatives Üben mit der PLATO®-Brille eine bedeutsame Leistungsverbesserung zu beobachten ist.

Der Zusammenhang zwischen den Treff- und den Antizipationsleistungen wurde für die horizontale x -Achse und vertikale y -Achse getrennt bestimmt (vgl. Tabelle 1). Auf der x -Achse blieben die Korrelationen in Vor-, Nach- und Retentionstest für beide Gruppen ähnlich. Auf der y -Achse konnte ein deutlicher Zuwachs in der Treatmentgruppe beobachtet werden.

Diskussion

Dartwerfer auf hohem Niveau verbessern ihre Leistungen durch ein achtwöchiges Trainingsprogramm mit zwei 1.5-stündigen Wurfeinheiten nicht so sehr, dass diese Leistungsverbesserung statistisch nachgewiesen werden könnte. Dabei spielt es keine Rolle, ob dieses Training durch ein einfaches Werfen auf die Dartscheibe besteht oder ob das antizipative Training durchgeführt wird. Die Antizipationsleistung kann in der Treatmentphase allerdings verbessert werden. Geübte Darter, die das Antizipieren ihres Treffpunkts ohne visuelle Rückmeldung nicht gewohnt sind, verbessern sich durch antizipatives Training deutlich gegenüber der Kontrollgruppe. Bei der Interpretation dieses Ergebnisses ist zu beachten, dass das Ausgangsniveau der Antizipationsleistung der Treatment- und der Kontrollgruppe unterschiedlich ist. Der U -Test von Mann-Whitney zeigt aber, dass trotz des schlechteren Ausgangsniveaus die Antizipationsleistung der Treatmentgruppe im Nachtest signifikant besser ist als die der Kontrollgruppe. Es kommt also

Tabelle 1. Korrelationen zwischen den antizipierten und den tatsächlichen Treffpunkten auf der horizontalen und vertikalen Achse für jede Gruppe in Vor-, Nach- und Retentionstest bei den geübten Dartern

		horizontal		vertikal	
		Treatment	Kontroll	Treatment	Kontroll
Vortest	r	.468**	.481**	.234**	.427**
	n	142	165	142	165
Nachtest	r	.539**	.423**	.543**	.434**
	n	144	168	144	168
Retention	r	.530**	.495**	.682**	.350**
	n	144	168	144	168

Anmerkung: ** signifikant auf dem 1 % Niveau.

zu einer Dissoziation von Schätz- und Treffleistung. Die Verbesserung der Antizipationsleistung der Treatmentgruppe wird vor allem durch eine Verbesserung der Antizipation der Flughöhe auf der vertikalen Achse erreicht.

Lernexperiment 2

Da in dem ersten Lernexperiment aufgrund des hohen Eingangsniveaus der Vpn keine statistisch nachweisbaren Leistungsverbesserungen erzielt werden konnten, wurde in dem zweiten Experiment eine Gruppe von Dart-Novizen untersucht. Wie in Experiment 1 wurde auch hier die Wirkung des antizipativen Übens erhoben. Da in der Anfängerschulung üblicherweise kein apparativ hoher Aufwand betrieben werden kann und die Studie möglichst praxisrelevant durchgeführt werden sollte, wurde statt der PLATO®-Brille eine einfache Schlafmaske verwendet, die vor dem Wurf, aber nach dem Zielen über die Augen gezogen wurde.

Methode

Versuchspersonen

An der Studie nahmen 10 Sportstudierende (7 Frauen, 3 Männer, alle rechte Wurfhand, mittleres Alter zu Testbeginn 23.7 Jahre, $SD = 1.9$ Jahre) teil. Die Gruppen wurden an Hand der Vortestleistung parallelisiert, 5 Vpn in der Kontrollgruppe (4 Frauen, 1 Mann) und 5 Vpn (3 Frauen, 2 Männer) in der Treatmentgruppe (vgl. Abbildung 4). Der Mann aus der Kontrollgruppe schied nach drei Wochen krankheitsbedingt aus, eine Gruppe übte dann zu Dritt. Die Teilnahme an dem Versuch erfolgte freiwillig gegen eine Aufwandsent-

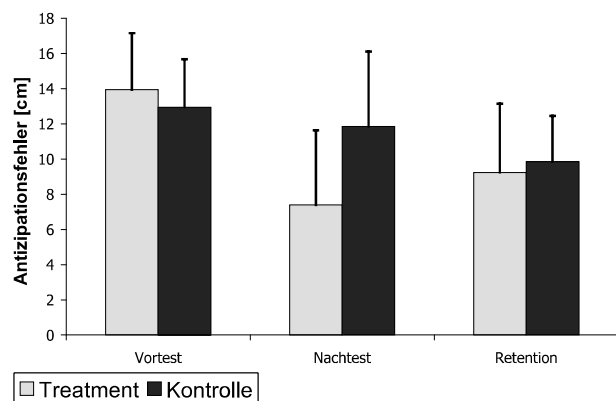


Abbildung 3. Mittlerer Antizipationsfehler und Standardabweichung der Novizen bei den 24 Würfeln mit PLATO®-Brille in Vortest, Nachtest und im Retentionstest

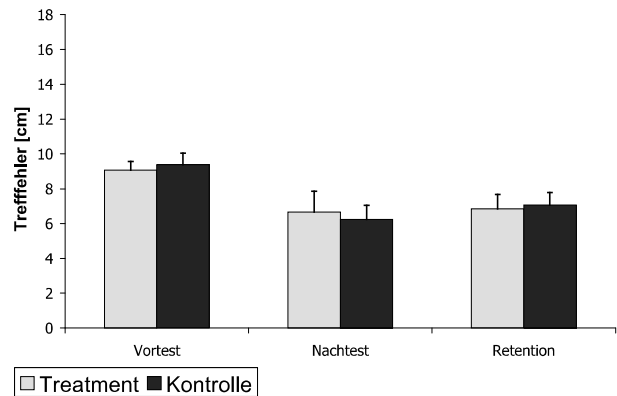


Abbildung 4. Mittlerer Trefferfehler und Standardabweichung der Novizen bei den 48 Würfeln ohne PLATO®-Brille in Vortest, Nachtest und im Retentionstest

schädigung von 100 €, die die Datenaufnahme während der Treatmentphase mit einschloss.

Versuchsaufbau

Das Zielbrett und die Pfeile waren die gleichen wie in Experiment 1. Im zweiten Experiment wurde statt der PLATO®-Brille bei jedem dritten Wurf eine einfache Schlafmaske, wie sie in Drogeriemärkten zu kaufen ist, kurz vor dem Wurf mit der Nicht-Wurfhand von der Vp über die Augen gezogen. Dabei entfiel die zusätzliche visuelle Information über den Verlauf der Wurfbewegung bis zu dem Zeitpunkt des Loslassens. Aufgabe und abhängige Variablen glichen denen aus dem ersten Experiment.

Design und Durchführung

Auch dieses Experiment bestand aus einem Vortest, einer achtwöchigen Treatmentphase, einem anschließenden Nachtest sowie einem Behaltenstest zwei Monate nach dem Nachtest.

Die Tests glichen denen aus Experiment 1, außer dass im Test ohne visuelle Rückmeldung statt der PLATO®-Brille die Schlafmaske benutzt wurde.

Das Treatment bestand für alle Vpn aus 16 Sitzungen, in denen jeweils 120 Würfe absolviert wurden. Die Vpn waren jeweils zu zweit, wobei eine Vp warf und die andere die Daten protokollierte, danach wurde gewechselt. Nach dem Ausscheiden der kranken Vp gab es eine Dreiergruppe. Genau wie in Experiment 1 wurde nach jeweils einem Block von zwölf Würfeln den Vpn die mittlere Leistung des Blocks mitgeteilt und zur Motivation der beste Block des Tages auf einem aushängenden Zettel notiert.

Ergebnisse

Antizipationsleistungen

Der Antizipationsfehler der Novizen, d.h. der Abstand zwischen dem Treffpunkt des Dartpfeils und dem antizipierten Treffpunkt wird vom Vortest zum Nachtest und zum Behaltenstest signifikant geringer ($F(2,14) = 5.103, p = .022, \eta^2 = .422$). Eine signifikante Interaktion zwischen dem Faktor Messzeitpunkt und dem Faktor Gruppe kann nicht nachgewiesen werden ($F(2,14) = 2.008, p = .171, \eta^2 = .223$) (s. Abb. 3).

Treffleistungen

Die Treffleistungen der Novizen im Vor-, Nach- und Behaltenstest werden in Abbildung 4 veranschaulicht. Zu erkennen ist eine deutliche Verbesserung von Nach- und Behaltenstest gegenüber dem Vortest ($F(1.40, 10.17) = 20.77, p = .01, \eta^2 = .748$). Bedeutsame Gruppenunterschiede bezüglich der Messzeitpunkte sind aber nicht nachzuweisen ($F < 1$).

Der Zusammenhang zwischen den Treff- und den Antizipationsleistungen (vgl. Tabelle 2) steigt für alle Werte von Vor- zu Nachtest an. Dies gilt ebenfalls für die Anzahl der gültigen Versuche. Die Zahl der Würfe neben das Zielbrett wurde von Vor- zu Nachtest und Retentionstest geringer.

Diskussion

Wie vorher gesagt können Novizen in einem achtwöchigen Treatment mit zwei Terminen à 120 Würfeln pro Woche ihre Wurfleistung im Dart deutlich verbessern. Allerdings bleiben auch hier zusätzliche Effekte der antizipativen Übungsform aus. Die Antizipationsleistung verbessert sich ebenfalls signifikant. Die

Treatmentgruppe hat zwar in der Antizipationsleistung gegenüber der Kontrollgruppe einen erheblichen Leistungszuwachs, dieser verliert sich jedoch nach zwei Monaten wieder. Vermutlich aufgrund der geringen Versuchspersonenzahl wird diese Interaktion nicht signifikant.

Gesamtdiskussion

Aufgrund theoretischer Überlegungen, aber auch praktischer Erfahrungen, ist die Antizipation der Effekte der eigenen Bewegungen von wichtiger Bedeutung für das motorische Lernen. Als Konsequenz daraus wurde postuliert, dass ein gezieltes Trainieren der Antizipationskompetenz möglicherweise zu einem höheren Lernfortschritt führt als dies ohne dieses Training möglich ist. Bisherige Untersuchungen konnten diese Überlegung weder bestätigen noch widerlegen. In dieser Studie wurde eine ballistische Zielwurfaufgabe – der Dartwurf – untersucht. Die Antizipationskompetenz wurde dadurch trainiert, dass ohne visuelle Rückmeldung der Effekt der Bewegung antizipiert und verbalisiert werden musste. Danach wurde der Effekt visuell rückgemeldet und konnte mit der Antizipation verglichen werden.

Als Konsequenz aus den durchgeführten Experimenten konnte festgestellt werden, dass diese Trainingsform zumindest bei Zielwurfaufgaben keine zusätzlichen nachweisbaren Leistungsverbesserungen in der Zielgenauigkeit mit sich bringt. Zwar wird die Antizipationskompetenz durch das Training erhöht, dies führt aber bei Geübten nicht zu einer erhöhten Treffleistung – es wirkt sich allerdings auch nicht negativ auf die Leistung aus. Bei Novizen verbesserte sich durch antizipatives Üben sowohl die Antizipations- als auch die Treffleistung, ein Unterschied gegenüber der Kontrollgruppe ist aber nicht nachweisbar.

Tabelle 2. Korrelationen zwischen den antizipierten und den tatsächlichen Treffpunkten auf der horizontalen und vertikalen Achse für jede Gruppe in Vor-, Nach- und Retentionstest bei den Novizen

		horizontal		vertikal	
		Treatment	Kontroll	Treatment	Kontroll
Vortest	<i>r</i>	.337**	.508**	.402**	.399**
	<i>n</i>	83	65	83	65
Nachtest	<i>r</i>	.399**	.567**	.626**	.541**
	<i>n</i>	115	76	115	76
Retention	<i>r</i>	.562**	.557**	.430**	.589**
	<i>n</i>	118	92	118	92

Anmerkung: ** signifikant auf dem 1 % Niveau.

Die beobachtete Dissoziation zwischen der Güte der Antizipation der Bewegung und der tatsächlichen Leistung bei Geübten wird von der angeführten Theorie so nicht vorhergesagt. Der Theorie der internen Modelle zufolge sollte eine Verbesserung des Vorwärtsmodells zu einer höheren Lernrate führen (vgl. Jordan & Rumelhart, 1992). Das Nicht-Bestätigen der hypothetischen Wirkung kann folgende Gründe haben: a) Die Theorie ist in diesem Punkt falsch, b) im experimentellen Design enthaltene Fehlerquellen verhindern die Entdeckung von signifikanten Treatmenteffekten oder c) die Annahme, dass die im Experiment erreichte Verbesserung der Antizipationskompetenz zu einer Verbesserung des Vorwärtsmodells führt, erweist sich als inkorrekt. Im Folgenden werden nur Argumente für die Schlussfolgerungen b) und c) diskutiert, da das Experiment nicht zur Falsifizierung der Theorie konstruiert worden war.

Zu b) Die wichtigste Fehlerquelle im Experiment ist vermutlich die Störung der Treff- und Antizipationsleistung durch das apparative Design. Vpn der Treatmentgruppe aus Experiment 1 berichteten, dass sie durch die Brille und die Verkabelung nicht gestört wurden. Die Trefffehler lagen für die Würfe ohne und mit Brille in der Treatmentphase eng beieinander (erster und zweiter Wurf ohne Brille: $\bar{x} = 4.5$ cm, $SD = 2.8$ cm; dritter Wurf mit Brille $\bar{x} = 4.4$ cm, $SD = 2.6$ cm; jeweils $N = 3536$). Dennoch waren die Werte aber höher als die der Kontrollgruppe in der Treatmentphase ($\bar{x} = 4.0$ cm, $SD = 2.6$ cm, $N = 12669$). In dem ersten Teil der Tests, in dem ohne Brille und Kabel geworfen wurde, konnte dieser Unterschied nicht beobachtet werden (vgl. Abb. 2). Daher muss von einer geringen Störung durch die Verkabelung ausgegangen werden. Besonders machte sich diese Störung im zweiten Teil der Tests bemerkbar, in dem 24 Würfe hintereinander mit Brille geworfen wurden. Hier erreichte die Kontrollgruppe einen durchschnittlichen Trefffehler von $\bar{x} = 8.43$ cm ($SD = 2.49$, $N = 504$), die Treatmentgruppe von $\bar{x} = 7.98$ ($SD = 2.36$, $N = 432$). Während also beim Ausführen eines jeden dritten Wurfs unter antizipativen Übungsbedingungen es nicht zu Leistungseinbußen durch das Ausschalten der visuellen Rückmeldung kam, hat dies in den Tests, in denen 24 Würfe hintereinander mit der Brille erfolgten, zu einer größeren Beeinträchtigung der Wurfleistung geführt.

In Experiment 2 entfiel die störende Verkabelung, dafür musste jedoch eine Zusatzbewegung zum Herunterziehen der Schlafmaske in Kauf genommen werden. Dies hatte einen störenden Einfluss (erster und zweiter Wurf ohne Maske: $\bar{x} = 7.4$ cm, $SD = 4.4$ cm; dritter Wurf mit Maske $\bar{x} = 11.3$ cm, $SD = 6.7$ cm; jeweils $N = 3200$). Insgesamt sind die Werte höher als die der Kontrollgruppe in der Treatmentphase ($\bar{x} = 6.7$ cm, $SD = 4.3$ cm, $N = 7677$), was auf eine Störung

auch in den ersten beiden Würfen ohne Schlafmaske hinweist. Wiederum ergibt sich eine schlechtere Leistung, wenn in den Testbedingungen 24 Würfe hintereinander mit Schlafmaske durchgeführt wurden. Die Kontrollgruppe trifft im Mittel 13.3 cm neben das Ziel ($SD = 6.0$, $N = 237$), die Treatmentgruppe 11.4 cm ($SD = 5.9$ cm, $N = 321$). Da aber in beiden Experimenten sowohl die Kontroll- als auch die Treatmentgruppe diese Beeinträchtigung erlitten, kann dies nicht die Dissoziation zwischen den Antizipations- und den Treffleistungen in Experiment 1 erklären.

Zu c) Es ist bislang ungeklärt, wie beim motorischen Lernen die Adaptation von Vorwärts- und inversem Modell zusammenwirken. Das Hauptproblem dabei ist, dass in der Theorie zu einem Zeitpunkt nur *ein* Fehlermaß zur Verfügung steht, nämlich *entweder* die Differenz zwischen der Antizipation und dem tatsächlichen Effekt *oder* die Differenz zwischen dem intendierten und dem tatsächlichen Effekt. Demgegenüber sind aber potenziell drei Fehlerquellen vorhanden, das Vorwärtsmodell, das inverse Modell und mögliche Fehler in der Wahrnehmung – das entspricht dem Unterbestimmtheitsproblem (Hossner & Künzell 2003). Jordan und Rumelhart (1992) vermuten, dass zunächst das Vorwärtsmodell gelernt wird und in einem zweiten Schritt das inverse Modell, wobei dann kein Lernen des Vorwärtsmodells mehr stattfinden kann. Elsner und Hommel (2001) schlagen in ihrem Zwei-Phasen-Modell ähnliches vor. Dass es zu einem Abschluss des Lernens des Vorwärtsmodells kommt, erscheint aber in biologischen Systemen unplausibel. Ein schlagendes Beispiel ist, dass bei Veränderungen der Körpermaße durch Wachstum oder bei Veränderung der konditionellen Voraussetzungen durch Krafttraining das Vorwärtsmodell neu angepasst werden muss. Es erscheint daher plausibel, dass bei jeder Bewegung zugleich das Vorwärtsmodell, das inverse Modell und auch die Wahrnehmung angepasst oder verstärkt werden können. Mit welchem Mechanismus das kognitive System diese Aufgabe bewerkstelligt ist ungeklärt (Künzell & Hossner 2004).

Wenn aber bei jeder Bewegung, d.h. hier bei jedem Dartwurf, das Vorwärtsmodell angepasst oder verstärkt werden kann, dann besitzen die erfahrenen Darter schon ein sehr elaboriertes Vorwärtsmodell aus einer Erfahrung von vielen tausend Würfeln. Es kann vermutet werden, dass in ihrem Vorwärtsmodell durch die in der Treatmentphase durchgeführten 1560 Würfe keine messbaren Veränderungsprozesse stattfinden. Die tatsächlich gemessene Leistungsverbesserung in der Antizipationsaufgabe in Experiment 1 könnte dann daher rühren, dass der *bewusste Zugriff* auf das Vorwärtsmodell trainiert und verbessert wurde. Dieser bewusste Zugriff hat dann zwar einen Einfluss auf die bewusste Antizipationsleistung, zeigt aber keinen messbaren Einfluss auf die Qualität des

Vorwärtsmodells und damit auch keinen messbaren Einfluss auf die Qualität des inversen Modells, sprich die Treffleistung. In Experiment 2, in dem die Novizen nur ein rudimentäres Vorwärtsmodell besitzen, wird dieses sowohl in der Treatmentgruppe als auch in der Kontrollgruppe durch das Werfen verbessert. Auch hier ist aber kein Einfluss der bewussten Antizipation auf die Güte des Vorwärtsmodells ableitbar.

Insgesamt deuten die experimentellen Befunde darauf hin, dass ein bewusstes Antizipieren des Bewegungseffekts keinen zusätzlichen Vorteil bei der Verbesserung des Vorwärtsmodells ergibt. Die Ergebnisse dieser Studie sprechen dafür, dass zumindest bei ballistischen Zielwurfaufgaben das Vorwärtsmodell nicht durch ein Bewusstmachen und Verbalisieren der Antizipation des Bewegungseffekts verbessert werden kann. Vielmehr legt die Studie nahe, dass das Erlernen des Vorwärtsmodells impliziten und langfristigen Adaptations- und Verstärkungsprozessen unterliegt.

Literatur

- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (1996). *Biologische Psychologie* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Coulom, R. (2002). Feedforward neural networks in reinforcement learning applied to high-dimensional motor control. In N. Cesa-Bianchi, M. Numao & R. Reischuk (Eds.), *Algorithmic learning theory. Proceedings of the 13th International Conference, ALT 2002* (pp. 403–413). Heidelberg: Springer.
- Elsner, B. & Hommel, B. (2001). Effect anticipation and action control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 229–240.
- Henderson, S. E. (1975). Predicting the accuracy of a throw without visual feedback. *Journal of Human Movement Studies*, 1, 183–189.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Holland, O. & Goodman, R. (2003). Robots with internal models. A route to machine consciousness? *Journal of Consciousness Studies*, 10 (4/5), 77–109.
- Hommel, B. (1993). Inverting the Simon effect by intention. *Psychological Research*, 55, 270–279.
- Hommel, B. (1996). The cognitive representation of action: Automatic integration of perceived action effects. *Psychological Research*, 59, 176–186.
- Hossner, E.-J. (1996). Prinzipien des Techniktrainings im Spitzensport. In K. Roth (Hrsg.), *Techniktraining im Spitzensport* (S. 84–100). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Hossner, E.-J. & Künzell, S. (2003). Motorisches Lernen. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre* (S. 131–153). Schorndorf: Hofmann.
- Imamizu, H., Kuroda, T., Miyauchi, S., Yoshioka, T. & Kawato, M. (2003). Modular organization of internal models of tools in the human cerebellum. *Proceedings of the National Academy of Science*, 100, 5461–5466.
- Jordan, M. I. & Rumelhart, D. E. (1992). Forward models: Supervised learning with a distal teacher. *Cognitive Science*, 16, 307–354.
- Künzell, S. & Hossner, E.-J. (2004). Internal models and the problem of under-determination: What is learned from a difference between anticipated and actual action effect? In Z. Waskiewicz, G. Juras & J. Raczek (Eds.), *Current research in motor control II. Theories, implementations and research perspectives in motor control* (pp. 59–65). Katowice: University School of Physical Education.
- Milgram, P. (1987). A spectacle-mounted liquid crystal tachistoscope. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 19, 449–456.
- Narendra, K. S. & Annaswami, A. M. (1989). *Stable adaptive systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Nattkemper, D. & Prinz, W. (1997). Stimulus and response anticipation in a serial reaction task. *Psychological Research*, 60, 98–112.
- Panzer, S. (2000). *Motorisches Lernen und Selbsteinschätzung*. Lengerich: Pabst.
- Roth, K. (Hrsg.). (1996). *Techniktraining im Spitzensport*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Ziessler, M. (1998). Response-effect learning as a major component of implicit serial learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 962–978.

Stefan Künzell

Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Sportwissenschaft
Kugelberg 62
35394 Gießen
E-Mail: stefan.kuenzell@sport.uni-giessen.de