

S. Panzer, F. Naundorf, J. Krug

## Motorisches Lernen: Lernen und Umlernen einer Kraftparameterisierungsaufgabe

*Motor Learning: Learning and relearning a force parameterization task*

Allgemeine Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Sportwiss. Fakultät Universität Leipzig

### Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie werden Unterschiede zwischen den Lernsituationen „Lernen“ und späteres „Umlernen“ untersucht. Den konzeptuellen Ansatzpunkt zur Untersuchung der Problemsituation bilden gedächtnistheoretische Ansätze. In einer experimentellen Versuchsanordnung (18 Probanden; Sportstudenten) mit einem Zweigruppen-Versuchsplan (Lerner, Umlerner) mit Messwiederholung sollten die Probanden eine komplexe Kraftparameterisierungsaufgabe - vertikale Absprungbewegung von einem Bein mit einem fest fixierten Brett unter dem Fuß - realisieren. Durch die Verschiebung des Brettes wurde der Abdruckpunkt verändert und ein Umlernprozess induziert.

In einer erneuten Lernphase realisierten die Umlerner die veränderte Aufgabe mit geringeren Fehlerwerten als die Lerner. In einer Retentionsphase zeigten die Umlerner trotz einer insgesamt größeren Anzahl an Bewegungsausführungen, aber gleicher Anzahl an Ausführungen nach Veränderung der Bedingung die höchsten Fehlerwerte. Die Ergebnisse scheinen überwiegend mit der Annahme vereinbar, dass beim Umlernen vormals gelernte Gedächtnisinhalte nicht verlernt wurden. Die Leistungsminderung ließe sich dann als Folge konkurrierender Gedächtnisinhalte auffassen.

**Schlüsselwörter:** Motorisches Lernen, Gedächtnis, Adaptation, Umlernen

### Einleitung

Unter einer praktischen Sichtweise ist der Vergleich zwischen dem Lernen – als dem ursprünglichen Erwerb einer motorischen Fertigkeit (6, 16) - und dem späteren Umlernen – der Veränderung von Teilen einer bereits vorliegenden motorischen Fertigkeit (11, 14) - immer dann von Interesse, wenn effizientere Techniken in der Arbeitswelt oder im Sport eingeführt werden (12). Der Chirurg muss die neuen Instrumente der Mikrochirurgie unter höchsten Genauigkeitsanforderungen einsetzen, der Eisschnellläufer muss mit dem neuen Klappschlittschuh bei jedem Schritt ein günstiges Verhältnis zwischen Abdruck vom Eis und Reibung durch die Kufe auf dem Eis finden (1). Gefordert sind Präzisionsleistungen der Bewegungsausführung unter einer neuen Bedingung. Die Bewegung ist einer neuen externen Situation anzupassen, womit auch motorische Lernprozesse angesprochen sind (9, 2).

### Summary

The aim of the present study is to investigate the difference between the two learning processes „learning“ and „relearning“. The conceptual basis for research are theories of motor memories. An experiment (18 participants; sport students) with a two-group design (relearners/learners) with repeated measures was carried out. Participants had to perform a force parameterization task, a vertical jump from one leg with a board strapped under the foot. A relearning process was induced by shifting the board. The results showed that in a new learning phase „relearners“ performed with less errors than learners. In a retention phase, „relearners“ performed with the highest error score although they executed a higher number of movement repetitions in all, the number of repetitions after adjustment being unchanged. A possible interpretation is that previously acquired contents stored in motor memory are not unlearned (i.e. forgotten). The detrimental performance effects can be interpreted as a consequence of competing motor memories.

**Keywords:** motor learning, memory, adaptation, relearning

In der Literatur zum motorischen Lernen wird nicht zwischen dem ursprünglichen Lernen und dem späteren Umlernen einer Bewegungsfertigkeit differenziert (11). Es werden explizit Parallelen zwischen beiden Lernsituationen gezogen, da sie gleichen Regeln folgen sollen, woraus geschlussfolgert wird, beide Lernprozesse seien gleichartig (10). Eine Äquivalenz von Lernen und späterem Umlernen erscheint aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssituationen aber wenig plausibel. Es existieren nur wenige Untersuchungen, welche die Situationen „Lernen“ und späteres „Umlernen“ vergleichen (11).

### Theoretische Anbindung und Stand der Forschung

Ansätze, die den Grundgedanken der Veränderung von bereits vorliegenden Fertigkeiten beinhalten (Umlernen), finden sich in den Arbeiten zur sensomotorischen Adaptation.

Diese betrachten Anpassungsvorgänge des motorischen Systems an sich verändernde Umweltbedingungen. Ausgelöst werden solche Anpassungsvorgänge durch eine Abweichung zwischen den eigenen Handlungen und deren erwarteten sensorischen Konsequenzen. Ein Kernpunkt der Annahmen ist, dass die adaptiven Prozesse im Zentralnervensystem und dort im motorischen Gedächtnis ablaufen (11, 2). In dem motorischen Gedächtnis sind unter anderem dynamische und kinematische Aspekte der Bewegungsfertigkeit repräsentiert, die für die Spezifikation der motorischen Kommandos zur Ansteuerung unseres muskulo-skeletalen Systems verantwortlich sind (8).

Im Labor werden sensomotorische Anpassungsleistungen in Störexperimenten untersucht. Hier wird ein in der ersten Versuchssitzung erreichter Lernstatus in einer zweiten Sitzung in einen „künstlichen Zustand“ der Entwicklung zurückversetzt, der einen neuen Lernvorgang bedingt (15). Die relevanten Befunde aus den vorliegenden Untersuchungen lassen sich in zwei Gruppen differenzieren. In der ersten Gruppe wurde die Zeitspanne zwischen den Versuchssitzungen als kritische Variable gesehen und systematisch variiert. Die Ergebnisse zeigen, dass Lernverlauf und Resultat der Adaptation von der Länge der Zeitspanne zwischen den Versuchssitzungen abhängig sind. Liegen beide Versuchssitzungen weniger als 5 Stunden auseinander, so lassen sich Interferenzen im Lernverlauf in der zweiten Sitzung beobachten, und das zuerst Gelernte kann in einer dritten Sitzung nicht mehr reproduziert werden (retroaktive Interferenz). Mit steigender Zeitspanne zwischen beiden Versuchssitzungen bleibt der Interferenzeffekt in der zweiten Versuchssitzung aus und vorab Gelerntes kann in einer weiteren Sitzung reproduziert werden (17). Als zentrales Argument für die differenziellen Effekte werden Konsolidierungsprozesse ins Feld geführt. Diese dauern auch noch Stunden nach dem eigentlichen Lernen an. Werden in dieser Zeitspanne Adaptationen induziert, konkurrieren simultane Konsolidierungs- und Adaptationsprozesse um begrenzte Kapazitäten des Kurzzeitgedächtnisses (KZG), welche die Interferenzen erklären. Da zu konsolidierende Gedächtnisinhalte in diesem Zeitraum noch nicht gefestigt sind, werden diese durch die Adaptation „überschrieben“, welches mit einem „unlearning“ von vorab Gelerntem erklärt wird (17). Mit wachsender zeitlicher Distanz zwischen beiden Sitzungen sind die Konsolidierungsprozesse abgeschlossen, so dass neue Gedächtnisinhalte ohne eine Beeinträchtigung durch Kapazitätsbegrenzungen des KZG erworben werden können. Beide Gedächtnisinhalte können dann im Langzeitgedächtnis (LZG) koexistieren (18).

Die zweite Gruppe sieht nicht die Zeitspanne als kritische Variable für die Adaptation, sondern die Aufgabencharakteristik. Unabhängig von der Zeitspanne findet sich immer eine Interferenz, wenn das vorab Gelernte in der zweiten Sitzung inadäquat war (2). Facilitation beim Lernen in der zweiten Sitzung zeigte sich, wenn „neither conflicting or synergetic task requirements“ (4, S. 364) vorlagen. Interferenz kann hier nicht durch Kapazitätsbegrenzungen im KZG infolge simultan ablaufender Konsolidierungs- und Adapta-

tionsprozesse erklärt werden, denn die Konsolidierung sollte nach den Überlegungen von *Shadmehr und Brashers-Krug* (17) nach 5 Stunden abgeschlossen sein.

### Fragestellung und Hypothesen

Die vorab referierten Befunde beziehen sich auf eine Lernsituation, die dem Umlernen inhärent ist. Ziel der hier vorgestellten Studie ist es, Unterschiede zwischen dem „Lernen“ und dem späteren „Umlernen“ zu untersuchen. Differenzierungskriterium sind die unterschiedlichen Ausgangssituationen.

Zwei Merkmale, die beide Lernsituationen unterscheiden sind, „substanzielles Nicht-Können“ und „Schon-Können“. Umlernen ist mit einem „Schon-Können“ der vorab erlernten, aber nun obsoleten Technik verbunden. Annehmen lässt sich, dass damit vorab gelernte Gedächtnisinhalte im LZG konsolidiert sind. Mit Blick auf die oben genannte Befundlage (17) sollte der Prozess des Umlernens nicht durch simultane Konsolidierungsprozesse beeinträchtigt werden. Umlernen führt nicht zu einem „substanziellen Nicht-Können“, wie dies beim ursprünglichen Erlernen zu beobachten ist. Eher lässt sich eine Art „Ungeschicklichkeit“ im Umgang mit der neuen Technik konstatieren, die leistungsmindernd wirkt. Nach Plausibilitätsüberlegungen von *Heuer* (11) führen die aus dem Gedächtnis spezifizierten motorischen Kommandos nicht mehr zu dem gewohnten Ergebnis. Den Umlernern sind im Gegensatz zu den Lernern einerseits motorische Kommandos und das gewohnte Ergebnis der Bewegung bekannt, andererseits auch die erfahrenen Konsequenzen und dazugehörige motorische Kommandos der gekonnten Bewegungsfertigkeit. Aus diesen Überlegungen folgt, dass gezielte Korrekturen beim Umlernen möglich sind. „Umlerner“ sollten im Lernverlauf schneller ihre motorischen Ausführungsleistungen verbessern als die „Lerner“ (Hypothese 1).

Die effizientere Technik soll aber auch langfristig eingesetzt werden, womit Retentionsleistungen beim Umlernen angesprochen sind. Dies bedingt eine gedächtnisabhängige Verfügbarkeit der umgelernten motorischen Fertigkeit. Befunde aus neurophysiologischen Arbeiten konnten zeigen, dass einmal konsolidierte Gedächtnisinhalte nicht „verlernt“ werden. Sie sind funktionell und anatomisch fest im motorischen Gedächtnis etabliert und können bei Bedarf reaktiviert werden (17). Demnach liegen beim Umlernen in der Retention zwei distinkte, spezifische Gedächtnisinhalte für das vorab Gelernte und das Umgelernte im motorischen Gedächtnis vor, während dies in der Situation „Lernen“ nicht zu vermuten ist. Da beide reaktiviert werden können, muss der Umlerner zwischen adäquaten und inadäquaten Gedächtnisinhalten auswählen. Hiermit entsteht für den Umlerner die Situation, den inadäquaten Gedächtnisinhalt für die Realisierung der Aufgabe zu instanzieren, was sich dann in einer fehlerhaften Bewegungsausführung niederschlägt (18). In Anbetracht der zusätzlichen Auswahlentscheidung und der Möglichkeit, den inadäquaten Gedächtnisinhalt zu instanzieren, sollte die Retentionsleistung beim Umlernen gegenüber dem Lernen beeinträchtigt sein (Hypothese 2).

## Methode

### Probanden

An dem Laborexperiment nahmen insgesamt 18 Probanden (Pbn), 13 Männer und 5 Frauen (Alter:  $26,7 \pm 4,6$  Jahre) teil. Alle waren Sportstudierende der Universität Leipzig und hatten keine Vorerfahrung mit der Aufgabe. Auf Nachfrage gaben alle Pbn an, dass ihr Absprungbein rechts war. Vor der Untersuchung wurde den Pbn mitgeteilt, dass es sich um ein motorisches Lernexperiment handelt. Es wurde nicht explizit erwähnt, dass es sich um ein Umlernexperiment handelt. Alle gaben ihre Einverständniserklärung.

### Aufgabe

Aufgabe war die möglichst exakte Realisierung einer submaximalen Sprunghöhe (60% des individuellen Maximalwertes; errechnet aus drei gemittelten maximalen Sprüngen) einer vertikalen Sprungbewegung ohne Ausholbewegung vom rechten Fuß. Die Sprungbewegung simuliert die „push-off“-Phase im Eisschnelllauf (1). Für die exakte Ausführung der Aufgabe besteht für den Lerner die Anforderung, Kräfte einer großen Muskelgruppe der unteren Extremität genau zu parameterisieren. Den Pbn wurde unter dem rechten Fuß ein Brett mit drei Bändern fixiert, welches bei allen Ausführungsversuchen angeschnallt blieb. Sie durften hierbei ihre Sportschuhe anbehalten. Das Brett ließ sich von hinter der Fußspitze (-25 mm) in anteriore Richtung zur Fußspitze (0 mm) verschieben (siehe Abb. 1). Während der Sprungausführung kommt es zu einer Plantarflexion des Sprunggelenks und zu einer Rotationsbewegung zwischen vorderem Brettende und Boden (1). Durch die Verschiebung des Brettes verändert sich die Länge zwischen vorderem Drehpunkt und Kraftangriffspunkt in Höhe der Ferse. Hierdurch änderte sich der Abdruckpunkt bei der Sprungbewegung für die Pbn.

In einer Pilotstudie konnte gezeigt werden, dass durch das Versuchsarrangement eine Auslenkung induziert wird, die

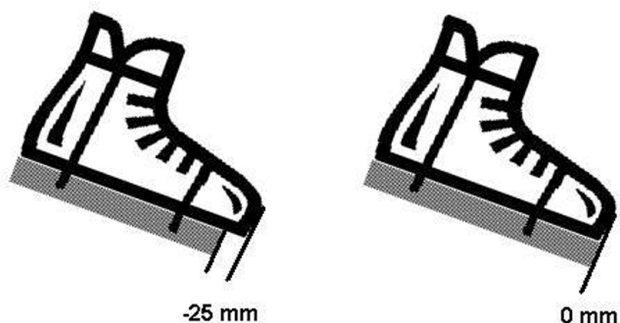


Abbildung 1: Darstellung des Versuchsarrangements, Schuh mit einem fixierten Brett und variablem Drehpunkt

für die präzise Ansteuerung der submaximalen Sprunghöhe einen erneuten Lernprozess verlangt. Auf der Grundlage der Befunde wurde auch der Stichprobenumfang berechnet (Teststärke 80%, Effektstärke .62).

### Versuchsablauf

Alle Pbn bekamen eine schriftliche Instruktion und absolvierten vor jedem Versuchstermin ein standardisiertes Aufwärmprogramm zur Verletzungsprophylaxe. Um eine neuromuskuläre Ermüdung zu reduzieren, wurde eine submaximale Sprunghöhe eingesetzt und als Zeitintervall zwischen jedem Sprung 30 Sekunden gewählt. In einem varianzanalytischen Versuchsplan mit Messwiederholung wurden die Pbn per Zufall zwei Versuchsbedingungen zugewiesen: „Umlernen“ und „Lernen“.

Die „Umlerner“ hatten drei und die „Lerner“ zwei Versuchstermine. Die „Umlerner“ absolvierten in einer Vortrainingsphase 100 Ausführungsversuche (vorgeschaltete Trainingsphase zur Induzierung unterschiedlicher Ausgangssituationen) mit der Variante -25 mm, bevor sie dann in einer erneuten Lernphase auf die 0 mm umlernen sollten. Die anzusteuende absolute Zielhöhe wurde konstant gehalten. Die Bedingung „Lernen“ sprang direkt mit der 0 mm-Variante. Zwischen jedem Versuchstermin lagen 48 Stunden. Beide Bedingungen realisierten zu jedem Versuchstermin 100 Ausführungsversuche. Sie erhielten nach jedem zweiten Versuch in den Blöcken 2-9 eine verbale Rückmeldung über ihr tatsächliches Bewegungsergebnis (Knowledge of Results; KR). Block 1 und 10 blieben zur Kontrolle des Ausgangs- und Aneignungsniveaus ohne KR. Zwischen Block 9 und 10 war eine Pause von 10 Minuten. Zum letzten Termin, dem Retentionstest, sollten die Pbn 10 Ausführungsversuche ohne KR realisieren. Somit hatte die Bedingung „Umlernen“ insgesamt 210 und die Bedingung „Lernen“ 110 Ausführungsversuche, wobei aber beide Bedingungen 110 Sprünge mit der 0 mm-Variante absolvierten.

### Datenerfassung und Variablen

Datenerfassung und Versuchssteuerung erfolgten computergestützt mit einem dynamometrischen Schnellinformationssystem (integrierte Messplattform Firma Kistler, Typ 9286AA; Abtastfrequenz 1000 Hz; Software „Sprung\_HP-VEE 5.0\_1“). Über den mittleren Kraftstoß wurde die Flughöhe berechnet. Abhängige Variable war der absolute Fehler (AE), berechnet als Betragsfunktion der Differenz zwischen der tatsächlich in dem Versuch erreichten Sprunghöhe minus dem individuellen Sollwert. In der Literatur wird dieser als Index für die Präzisionsleistung einer Bewegungsfertigkeit (13) angeführt. Verrechnet wurden über zehn Ausführungsversuche gemittelte Daten.

Die deskriptive und inferenzstatistische Analyse erfolgte mit der SPSS-PC Version 10.0. Generell wurde bei einem  $p < .05$  die betreffende statistische Nullhypothese abgelehnt. Alle Daten wurden auf Normalverteilung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test (Lilliefors-Korrektur) und auf Varianzhomogenität mit dem Levene-Test überprüft. Die Bestimmung der Effektgrößen ( $\epsilon$ ) erfolgte unter Verwendung des partiellen  $\eta^2_p$ . Ein  $\epsilon$ -Wert von .10 kennzeichnet einen schwachen, ein  $\epsilon$  von .25 einen mittleren und ein  $\epsilon$  von .40 einen starken Effekt (5).

**Ergebnisse**

**Erneute Lernphase**

Zur Kontrolle der Randomisierung bzgl. der abhängigen Variablen AE wurde der erste Ausführungsversuch zum ersten Versuchstermin beider Bedingungen verglichen. Es zeigt sich kein statistischer Unterschied ( $t_{\text{zweiseitig}}[2,16] = -0.49, p = .63$ ). Beide realisieren auf dem gleichen motorischen Aus-

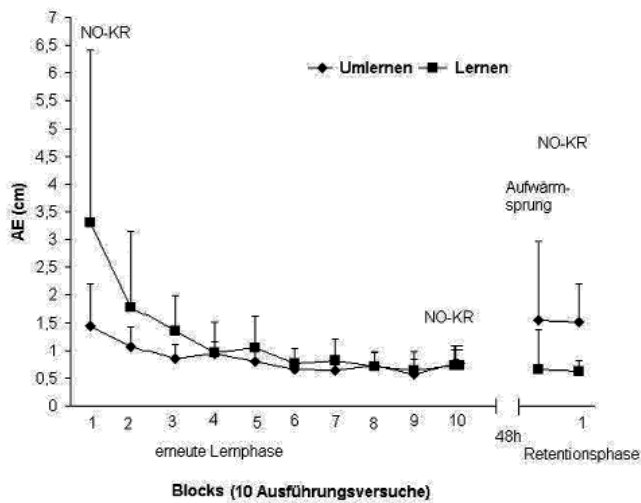


Abbildung 2: Mittelwerte und Steuungen der beiden Versuchsbedingungen in der erneuten Lernphase und im Behaltenstest.

führungsniveau. In Abbildung 2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der beiden Versuchsbedingungen in der erneuten Lern- und Retentionsphase dargestellt.

Im ersten Versuchsblock - der initialen Phase des Umlernens (NO-KR) - beträgt der Leistungsvorteil der „Umlerner“ gegenüber den „Lernern“ 39%. Über den Lernverlauf verbesserten beide Versuchsbedingungen ( $F[1,1.27_{\text{Greenhouse-Geisser-Epsilon-Korrektur}}] = 8.09, p < .01; \eta^2 = .34; \epsilon = .72$ ) ihre motorischen Ausführungsleistungen. Es zeigte sich kein Haupteffekt Versuchsbedingung ( $F[1,1] = 3.72, p = .072; \eta^2 = .19; \epsilon = .48$ ). Die Interaktion wird aufgrund der notwendigen Greenhouse-Geisser-Epsilon-Korrektur statistisch nicht signifikant ( $F[1,1.26_{\text{Greenhouse-Geisser-Epsilon-Korrektur}}] = 2.45, p = .13; \eta^2 = .13; \epsilon = .38$ ). Hypothese 1 ist damit zunächst zurückzuweisen. Die korrekturbedingte Nicht-Indizierung einer statistischen Signifikanz der Interaktion lässt es nicht unberechtigt erscheinen, eine ex-post-facto-Analyse für die gesamte erneute Lernphase durchzuführen. Hierzu wurden die Daten der jeweiligen Versuchsbedingung über alle Blöcke gemittelt (gepoolt). Die post-hoc-Analyse ( $t_{\text{einseitig}}[2,16] = -1.85, p = .041; \eta^2 = .18$ ) zeigt, dass über die gesamte erneute Lernphase die Umlerner im Mittel mit geringeren Fehlerwerten realisieren, als die Lerner.

**Retentionsphase**

Der erste Ausführungsversuch wurde ungeblockt analysiert. Hierdurch sollten Aufwärmefekte kontrolliert werden. Bezogen auf die gesamte Retentionsphase weisen die Umlerner im Mittel höhere Fehlerwerte auf als die Lerner, was sich auch statistisch bedeutsam absichern lässt ( $F[2,16] = 5.31;$

$p < .05; \eta^2 = .25; \epsilon = .57$ ). Alle anderen Effekte werden nicht signifikant. Die Fehlerwerte der Umlerner erreichten fast wieder das Ausgangsniveau wie zu Beginn der erneuten Lernphase. Hypothese 2 kann beibehalten werden.

**Diskussion**

Untersucht wurde in der vorliegenden Studie der Unterschied beim „Lernen“ und späteren „Umlernen“ einer komplexen großmotorischen Fertigkeit unter dem Aspekt der Bewegungspräzision. Die eingesetzte Absprungbewegung erfordert für die exakte Realisierung einer submaximalen Sprunghöhe eine präzise Kraftparameterisierung. Die unterschiedlichen Ausgangsbedingungen führen bei gleichbleibendem Aufgabenziel zu differenziellen Effekten in der erneuten Lernphase und der anschließenden Retentionsphase.

**Erneute Lernphase**

Der positive Transfereffekt der Umlerner in der initialen Phase ist sowohl in der Richtung als auch im Betrag in Konkordanz mit Befunden aus anderen Untersuchungen (2, 8). Der nicht signifikante Haupteffekt „Versuchsbedingung“ zeigt, dass Umlerner und Lerner sich in ihren Ausführungsleistungen nicht voneinander unterscheiden. Eine ausschließliche Betrachtung der Ergebnisse unter diesem Aspekt, würde die von *Shadmehr und Brashers-Krug* (17) angeführte Konsolidierungshypothese und das damit verbundene „tabula rasa“-Argument unterstützen. Die Grundidee ist, dass nach der Konsolidierungsphase von 5 Stunden das KZG von vorab gelernten Gedächtnisinhalten wieder „grundlegend frei“ ist, was metaphorisch als „tabula rasa“ bezeichnet wird. Erneutes Lernen in der initialen Phase bleibt danach unbeeinflusst, was bedeutet, dass weder Interferenz noch Facilitation auftritt. Geschlussfolgert wird hieraus, dass erneutes Lernen von Gedächtnisinhalten dem ursprünglichen Lernen von Gedächtnisinhalten gleicht. Mit dem „tabula rasa“-Argument lässt sich jedoch nicht erklären, dass die Umlerner in der erneuten Lernphase schneller ihre motorische Ausführungsleistung verbessern als die Lerner. Angesichts der hier dargelegten Ergebnisse ist zu vermuten, dass der vorab konsolidierte Gedächtnisinhalt reaktiviert wird und zur Leistungsverbesserung über den Lernverlauf beiträgt. Die im Gedächtnis für die konkrete Realisierung der Bewegung repräsentierten motorischen Kommandos sind zwar nicht mehr adäquat – was den Befund zum ausgebliebenen Haupteffekt erklären würde – aber der hierdurch entstehende „Fehler“ besitzt durch den bereits vorab gelernten und konsolidierten Gedächtnisinhalt eine festgelegte Größe (11).

Da bei den Lernern für die zu realisierende Bewegung keine spezifischen Gedächtnisinhalte vorliegen, sollten die Umlerner in Anbetracht der angeführten Überlegungen schneller ihre Fehler reduzieren als die Lerner – was auch den post-hoc indizierten Interaktionseffekt erklären würde.

**Retentionsphase**

Der in der erneuten Lernphase aufgedeckte Leistungsvorteil der Umlerner verkehrt sich im Retentionstest ins Gegenteil.

Auch nach einer Rekalibrierung ihrer Sensomotorik durch einen Aufwärmprung zeigten die Umlerner (trotz eines zusätzlichen Versuchstermins und damit einer absolut größeren Anzahl an Ausführungsversuchen, aber identischer Anzahl an Versuchen unter der gleichen Bedingung gegenüber den Lernern) im Retentionstest nach 48 Stunden schlechtere motorische Ausführungsleistungen. Während die Lerner ohne weiteres in der Lage waren, ihre gelernte motorische Fertigkeit zu reproduzieren, ist die Reproduktion der zuletzt erworbenen motorischen Fertigkeit bei den Umlernern herabgesetzt. Hier zeigen sich proaktive Interferenzeffekte (3). Vorab Gelerntes beeinträchtigt die Wiedergabe des zuletzt Gelernten. Die vorliegenden Befunde lassen sich allerdings recht gut mit der Vorstellung erklären, dass mit dem sukzessiven Lernen motorischer Fertigkeiten anatomisch und funktionell unterschiedliche Areale in den neuronalen Strukturen des Zentralnervensystems etabliert werden (18). Die mit bildgebenden Verfahren gewonnenen hirnpfysiologischen Befunde zeigten, dass die vorab erworbenen neuronalen Strukturen mit der Zeit zwar in andere Areale verschoben werden. Sie sind aber weiter existent und können auch mit der Instanziierung der motorischen Fertigkeit wieder reaktiviert werden (17, 18).

Dies korreliert mit der Überlegung, dass Umlernen einer motorischen Fertigkeit nicht zu einem Verlernen vorab gelernter Gedächtnisinhalte führt (7). Hier entsteht für den Umlerner die Situation, für die aktuelle Bewegungsausführung zwischen einem adäquaten und einem inadäquaten Gedächtnisinhalt auswählen zu müssen und den inadäquaten zu unterdrücken (18). Die detrimentalen Effekte der Umlerner gegenüber den Lernern ließen sich dann als Folge konkurrierender Gedächtnisinhalte auffassen (18). Im Weiteren deuten die Befunde darauf hin, dass die Inhibition nicht adäquater Gedächtnisinhalte nicht spontan erfolgt, sondern einen Trainingsprozess bedingt (4, 18). Für praktische Implikationen ist unter dem Aspekt der Trainingsplanung von Interesse wie lange der Zeitraum ist, der benötigt wird um die Inhibition inadäquater Gedächtnisinhalte wirksam zu realisieren. Hiermit sind prospektive Aspekte der Umlernsituation angesprochen. Dieser Frage wird in einer weiteren Versuchsanordnung, in der über einen längeren Zeitraum Retentionstests durchgeführt werden, nachgegangen. Aus einer forschungsmethodischen Perspektive ist die Versuchsplanung derart angelegt, dass die vorliegenden Befunde repliziert werden können, um statistisch bedingte Zufallseinflüsse zu reduzieren (5).

## Literatur

1. Allinger TL, Motl RW: Experimental Vertical Jump Model Used to Evaluate the Pivot Location in Klap Speed Skates. *J Appl Biomech* 16 (2000) 142-156.
2. Bock O: Mechanismen der sensomotorischen Adaptation beim Menschen. *Dtsch Z Sportmed* 52 (2001) 338-342.
3. Bock, O, Schneider S.: Proactive Interference in Motor Learning. *Society for Neuroscience*, 25, 1999.
4. Bock O, Schneider S, Bloomberg J: Conditions for interference versus facilitation during sequential sensorimotor adaptation. *Exp. Brain Res* 138 (2001) 359-365.
5. Bortz J, Döring N: Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler. Springer, Berlin, 1995.
6. Daugs R, Blischke K: Sensomotorisches Lernen. In: K Carl, D Kayser, H Mechling, W Freysing (Hrsg.): *Handbuch Sport*, Düsseldorf, 1984, 381-420.
7. Dorsch F: *Psychologisches Wörterbuch*. Hans Huber, Stuttgart, 1997.
8. Flanagan RJ, Nakano E, Imamizu H, Osu R, Yoshioka T, Kawato M: Composition and Decomposition of Internal Models in Motor Learning under Altered Kinematic and Dynamic Environments. *J Neurosci* 19, (1999) 1-5.
9. Halsband U: Neuropsychologische und neurophysiologische Studien zum motorischen Lernen. Pabst, Lengerich, 1999.
10. Held R: Plasticity in sensorimotor coordination, in: Freedman SJ (Ed.): *The Neuropsychology of Spatially oriented Behavior*. Dorsey Press, Homewood Illinois, 1968.
11. Heuer H: *Bewegungslernen*. Kohlhammer, Stuttgart, 1983.
12. Hollmann W, Hettinger T: *Sportmedizin*. Schattauer, Stuttgart 2000.
13. Magill RA: *Motor Learning: Concepts and Applications*. McGrawhill, Boston, 1998.
14. Meinel K, Schnabel G: *Bewegungslehre - Sportmotorik*. Sportverlag, Berlin, 1998.
15. Munzert J, Born A: Erlernen einer Werkzeugtransformation am Beispiel der Bewegungsinverson. In: J Nitsch, H. Allmer (Eds.); *Emotionen im Sport: Zwischen Körperkult und Gewalt*. bps, Köln 1995 88-92.
16. Seitz RJ: Motorisches Lernen: Untersuchung mit der funktionellen Bildgebung. *Dtsch Z Sportmed* 52 (2001) (12) 343-349.
17. Shadmehr R, Brashers-Krug T: Functional stages in the formation of human long-term motor memory. *J Neurosci* 17 (1997) 409-419.
18. Shadmehr R, Holcomb HH: Inhibitory control of competing motor memories. *Exp. Brain Res* (1999) 235-251.

Korrespondenzadresse:

Dr. Stefan Panzer

Sportwiss. Fakultät der Universität Leipzig

Jahnallee 59

04109 Leipzig

Fax: ++49 341 9731679

E-Mail: panzer@rz.uni-leipzig.de