

Lehren und Lernen von Bewegung aus systemdynamischer Sicht

1 Einführung

Traditionell wird Lehren und Lernen von Bewegungen mit vormachen, nachmachen, vielen Wiederholungen und zahlreichen Fehlerkorrekturen verbunden. Dabei wird prinzipiell zunächst von einem Vorbild (bzw. Leitbild) ausgegangen, das personenunabhängig, d. h. für alle gleich und auch relativ unabhängig von der Zeit ist. Zugeständnisse in Richtung Individualität werden in der Regel erst mit zunehmender Annäherung an höchste Leistungsbereiche gemacht. Charakteristisch für Traditionelles findet eine Rechtfertigung der Modelle nicht selten über das Maß ihrer Verbreitung und ihrer Anwendungsdauer statt. Nahezu unbemerkt fließen hierbei oft latente Annahmen in das Theoriegebäude mit ein, die sich bei näherer Betrachtung als kritisch erweisen. Entsprechendes gilt auch und vor allem im Bereich von Wissenschaftsverständnissen. War historisch bedingt das Wissenschaftsverständnis in den naturwissenschaftlich orientierten Forschungsbereichen stark geprägt von der Ermittlung grober Gesetzmäßigkeiten starrer Körper (wie z. B. von Planetenbewegungen), denen in der Regel durch Mittelwertbildungen Rechnung getragen wurde, so zeigen sich seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts zunehmend Probleme ihrer Übertragbarkeit auf lebende Systeme. Mit der Untersuchung dissipativer Systeme, d. h. von Systemen, die im energetischen Austausch mit der Umwelt stehen, kristallisieren sich zunehmend Unterschiede in den Modellannahmen beider Ansätze heraus. Werden im einen Fall Schwankungen in einem System als destruktiv betrachtet, so werden im anderen Fall den Schwankungen konstruktive Eigenschaften zugeschrieben. Glaubt man auf der einen Seite an das Vorgeben der Ordnung von außen, so sieht man auf der anderen Seite Hinweise für eine selbstorganisierte Ordnung. Sowohl die Annahmen in Bezug auf die Schwankungen als auch in Bezug auf die Ursache von Ordnung spielen beim Lehren und Lernen von Bewegung im Sport traditionell eine wesentliche Rolle. Umfangreiche Hinweise sowohl auf den konstruktiven Einfluss von Schwankungen bei der Bewegungskontrolle und beim Bewegungslernen als auch auf die selbstorganisierte Individualität von Bewegungen bilden die Basis für ein zunehmendes Überdenken der Annahmen traditioneller Vorgehensweisen im Sport. In diesem Beitrag werden die theoretischen Grundlagen der veränderten Betrachtungsweise in direkter Verbindung mit ihren praktischen Konsequenzen und deren experimentelle Bestätigungen darge-

¹ Für anregende Kommentare bei der Erstellung des Manuscripts danke ich PD. Dr. W. Steinmann und Prof. Dr. R. Laging.

stellt sowie ein Modell vorgeschlagen, das die traditionelle Vorgehensweise als einen Spezialfall der neuen Betrachtungsweise erklärt.

2 Dynamische Systemtheorie als disziplinübergreifender Ansatz

Abhängig von der Sichtweise der jeweiligen Wissenschaftsdisziplin und den damit verbundenen Annahmen sind unterschiedliche Aspekte des Lehrens und Lernens von Bewegungen im Fokus des Forschungsinteresses. Entsprechend resultieren u. a. assoziatives, kognitives, implizites, soziales, affektives, prozedurales oder kooperatives Lehren und Lernen von Bewegungen. Einen Forschungsgegenstand unabhängig von der Wissenschaftsdisziplin zu betrachten war und ist zentrale Fragestellung der Systemtheorie (Bertalanffy, 1969) und Kybernetik (Wiener, 1948). Ziel dabei ist es, ein zu untersuchendes Problem so abstrakt zu beschreiben und zu analysieren, dass die Ergebnisse im Anschluss auf verschiedenste Wissenschaftsbereiche übertragbar sind. Im Unterschied zur ursprünglichen Intention wird dabei recht häufig eine systemische mit einer ganzheitlichen Betrachtung gleichgesetzt, die nicht selten als eine Analyse eines einzelnen Forschungsobjektes in einer relativ stabilen Situation durch unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen verstanden wird. Strukturell wird dieser Bereich der Systemtheorie einer statischen Systemtheorie zugeordnet – im Unterschied zur dynamischen Systemtheorie (Bischof, 1995). Zentraler Gegenstand der dynamischen Systemtheorie ist die Änderung von Zuständen bzw. der Übergang zwischen Zuständen, wohingegen die statische Systemtheorie Zustände analysiert, die über einen relativ langen Zeitraum zur Ruhe kamen und stabil sind. Eng verbunden mit der dynamischen Systemtheorie ist die Analyse dissipativer Systeme, d. h. von Systemen, die im energetischen Austausch mit ihrer Umwelt stehen, also auch lebenden Systemen. Charakteristisch für solche Systeme sind ihre ständigen Schwankungen und besonders zeichnet sie ihr Verhalten beim Übergang in einen neuen Zustand aus, bei dem die Schwankungen deutlich zunehmen. Ein Beispiel für das Verhalten eines dissipativen Systems stellt das Rayleigh-Bénard-Experiment dar, bei dem eine viskose Flüssigkeit von unten erhitzt wird. Bei dem Versuch die Temperaturunterschiede zwischen oben und unten auszugleichen entstehen bei zunehmender Hitze Konvektionsrollen unterschiedlicher Größe. Bei Übersteigen einer kritischen Temperatur zeigt das System insofern ein außergewöhnliches Verhalten, als dass sich nun stabile Rollenmuster ausbilden. Es entsteht also Ordnung in der Flüssigkeit ohne die zentrale Organisation eines Ordners, der jedem Molekül mitteilt, in welche Richtung es sich mit welcher Geschwindigkeit zu bewegen hat. Es findet klassische Selbstorganisation statt. Hierbei gilt es, ein selbstorganisiertes System von einem autarken zu unterscheiden. In einem selbstorganisierten System wird von außen Energie zugeführt, die Ordnung im System selbst findet allein aufgrund der Eigenschaften des Systems statt, von außen gibt es keine Information über die Art der Ordnung. Im Unterschied hierzu ist ein autarkes System in sich

geschlossen und steht nicht in Verbindung mit der Umwelt. Im Rahmen selbstorganisierender Systeme wird zusätzlich in aktiv und passiv strukturbildende Systeme unterschieden (Ebeling & Feistel, 1982). Während sich beim einen die Entropiepumpe außen befindet, wie z. B. beim Laser oder dem Rayleigh-Bénard-Experiment, liegt die Entropiepumpe im anderen Fall innen (z. B. Ottomotor, Mensch). Ein für Lernprozesse wesentliches Charakteristikum zeigt sich beim Verhalten der Flüssigkeit im Rayleigh-Bénard-Experiment vor Erreichen des Rollenmusters: Die Anzahl der Rollen mit unterschiedlichen Größen nehmen deutlich zu. Auf den ersten Blick in der Verbindung mit Lehr- und Lernprozessen etwas fremd wirkend, entpuppt sich dieses Kennzeichen bei entsprechend abstrakter Betrachtung im Sinne der Systemtheorie als ein Schlüssel für die Veränderung von Zuständen. Abstrakt betrachtet handelt es sich bei der Flüssigkeit in dem Rayleigh-Bénard-Experiment um ein System, das zu Beginn und am Ende jeweils stabile Zustände mit geringen Schwankungen einnimmt und im Übergang durch die Zunahme der Schwankungen eine Instabilität aufweist (Abb. 1). Neben den unterschiedlich großen Schwankungen sind die beiden Zustände *Stabilität* und *Instabilität* dadurch charakterisiert, dass z. B. aus physikalisch mechanischer Sicht bei stabilen Zuständen (z. B. weite Schrittstellung) relativ viel Energie aufzuwenden ist, um das System in einen anderen Zustand zu bringen. Bei instabilen Zuständen (z. B. Einbeinstand) hingegen ist für die Änderung des Zustandes relativ wenig Energie notwendig. Auf dieser abstrakten Ebene erweist sich der Untersuchungsgegenstand, entsprechend der systemtheoretischen Intention disziplinunspezifisch zu modellieren, erneut auf unterschiedlichste Bereiche übertragbar. Eine anschließende mathematische Modellierung des Rayleigh-Bénard-Experiments mit den entsprechenden Modellverkürzungen bildet die Phänomene der mono- und bistabilen Zustände aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit dann entsprechend ab (Haken & Wunderlich, 1991) und führt bei niedriger Temperatur zu einem monostabilen Zustand, bei höherer Temperatur zu einem bistabilen.

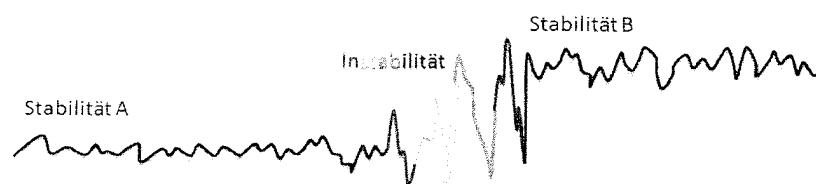


Abb. 1: Übergang von einem stabilen Zustand A in einen anderen B über eine Instabilität

3 Das Differenzielle Lernen

Erkenntnistheoretisch entspricht eine systemische Betrachtung dem Prozess einer Modellbildung. Entsprechend der Modellmethode (Harbordt, 1974; Ballreich; 1980; 1996) ist der Modellzweck des differenziellen Lernmodells (=DL; Schöllhorn, 1999) die verkürzte Abbildung eines motorischen Lernprozesses mit Trainern, Lehrern, Therapeuten und Wissenschaftlern als Nutzerbezug. Die Beschreibungs- bzw. Modellvariablen sind in der Mehrzahl der Studien zum DL Leistungsmerkmale, die quantitativ in Form von Weite (Beckmann & Schöllhorn, 2003), Genauigkeit (Trockel & Schöllhorn, 2003; Schöllhorn & Paschke, 2006; Römer et al., 2003; 2009) oder Zeit (Beckmann & Gotzes, 2010) als Zielgrößen erfasst wurden. Neben den Leistungsergebnissen ist in diesen Studien, entsprechend dem systemdynamischen Modell für Zustandsänderungen, die Zunahme an Schwankungen – in Form von variablen Bewegungsausführungen – eine Modellvariable (= Einflussgröße) für eine entsprechende Modellkonstruktion gewählt worden. Formal lässt sich das Modell so ausdrücken, dass die Leistungssteigerung L eine Funktion f der Bewegungsschwankungen N ist: $L = f(N)$. Dieses Modell ist im Rahmen einer Modellüberprüfung formal, empirisch und pragmatisch auf Gültigkeit zu überprüfen. Formal entspricht eine Steigerung der Bewegungsvariationen einer Zunahme an Schwankungen während eines Phasenübergangs bei dissipativen Systemen. Analoges wird bei der Überprüfung des Schemamodells nach Schmidt (1975) vorgenommen, indem die Stabilisierung von Schemata durch eine Zunahme der variablen Parameter erst theoretisch (1975) und später experimentell (1985) überprüft wird. Da beim Menschen durch alleinige Temperaturerhöhung, wie beim Rayleigh-Bénard-Experiment, oder durch Geschwindigkeitssteigerungen, wie beim Fingerexperiment von Haken, Kelso und Bunz (1985), sich nicht automatisch die bestehenden Bewegungsschwankungen in einen kritischen Bereich steigern lassen, wurde beim DL auf die Schwankungen der Bewegungen unmittelbar zurückgegriffen, da durch ihre Steigerung die Wahrscheinlichkeit einer Instabilität erhöht wird und gleichzeitig das System verschiedenste Modi einer Lösung erhält, aus denen sich dann selbstorganisiert neue Lösungen finden. Zum Beispiel kann in diesem Sinne eine Volleyballannahme in paralleler Beinstellung, in Schrittstellung, mit gebeugten Armen, mit gestreckten Armen, zu nah am Ball, seitlich versetzt zur Flugrichtung etc. gelernt werden. Analog den systemdynamischen Charakteristiken dissipativer Systeme werden nur die auftretenden Schwankungen der beobachteten Bewegungen vergrößert und keine konkrete Lösung von außen oktroyiert.

Empirisch-pragmatisch wurde das Modell durch verschiedenste Experimente in der Praxis überprüft und statistisch wissenschaftskonform bestätigt. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Schwankungen wurde keine Bewegung ein zweites Mal wiederholt und von außen keine Korrekturanweisung in Bezug auf vorangegangene Bewegungen gegeben. Hintergrund für das Auslassen der Korrekturanweisungen sind Hinweise aus der Feedback- bzw. Knowledge of Result (KR)-Forschung, wonach zum einen die Rückmeldefrequenz im günstigsten Fall selbstgewählt sein sollte (Mendoza, 1993) und

dies in der Realität auch lediglich in Anspruch genommen wird, wenn der Athlet selbst nichts Entscheidendes in der vorangegangenen Bewegung gespürt hat², d. h. wenn dem Athleten die interne und externe Eigeninformation nicht ausreicht. Zum anderen werden verschiedene Befunde aus der Literatur geliefert, die gleiche Leistungssteigerungen ohne externe Rückmeldungen zeigen, wie diejenigen mit Rückmeldungen (Swinnen, Vandenberghe & van Asche, 1985; Magill, Chamberlin & Hall; 1991). Swinnen (1996) und Silverman (1994) gehen hier von einer Überbewertung der Rückmeldungen in Form von KR aus. Die positiven Ergebnisse der KR-Forschung waren größtenteils durch das Untersuchungsdesign bedingt, in denen die Quellen intrinsischer Informationen weitestgehend unterdrückt waren (Magill, 1993). Die Mehrzahl der Untersuchungsdesigns zur KR-Forschung weist ferner als primäre Grundlage das Lernen durch Wiederholen im Rahmen eines Regelkreises auf (Adams, 1987). Demzufolge scheint das KR-Lernen eng gekoppelt an wiederholungsbasiertes Lernen. Vor diesem Hintergrund ist die Gabe von KR insofern plausibel, als dass beim wiederholungsbasierten Lernen ein wesentliches Ziel ist, möglichst keine Unterschiede zu produzieren.

Beim Modell des DL im engeren Sinne werden durch die ständigen Differenzen (keine Wiederholung) stets so große Unterschiede in der Wahrnehmung verursacht, dass keine zusätzliche externe Fremdinformation durch den Trainer oder Lehrer notwendig ist. Der Athlet/Schüler kann selbst (meist implizit) ein „Gespür“ für die situativ optimale Lösung entwickeln.

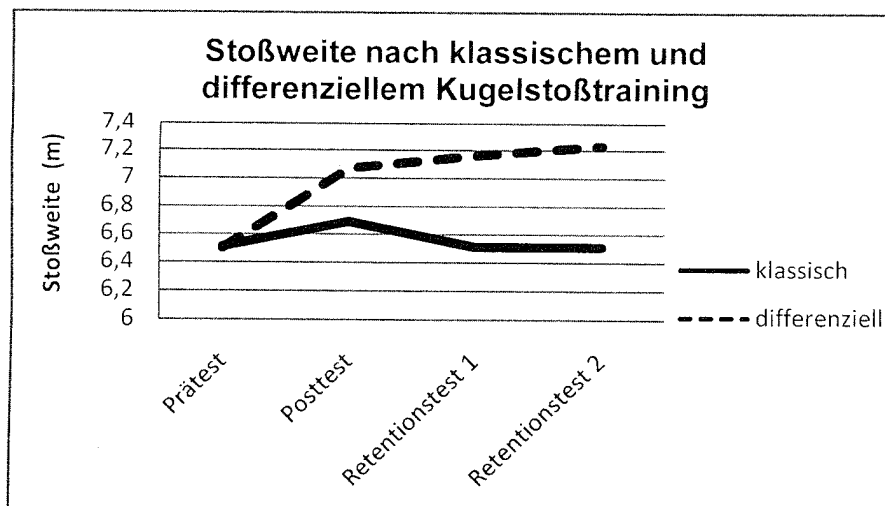


Abb. 2: Stoßweite vor, während und nach klassischem und differenziellem Kugelstoßtraining (vgl. Beckmann, 2003)

² Eine Korrekturhilfe nicht zu geben, ist sprachlich und wissenschaftstheoretisch deutlich zu unterscheiden von einem Verbot. Inwiefern zusätzliche Korrekturanweisungen einen Effekt haben könnten, bedarf in diesem Zusammenhang weiterführender Forschung.

4 Studien zum Differenziellen Lernen

Die ersten experimentellen Überprüfungen des Einflusses von verstärkten Schwankungen in Schule und Verein verglichen klassisches, wiederholungs- und korrekturbasiertes Training im Volleyball (Römer et al., 2003), Fußball (Trockel, 2002) und Basketball (Schönherr, 2003) mit differenziellem Training im Rahmen von 4- bis 6-wöchigen Interventionen bei ein bis zwei Maßnahmen pro Woche. Schon während dieser Aneignungsphase zeigten die differenziell trainierten Gruppen statistisch signifikante Vorteile gegenüber den klassisch Lernenden. Die auf Überprüfung der Nachhaltigkeit ausgelegten Experimente zum Kugelstoßen (Beckmann, 2003; Beckmann & Schöllhorn, 2006) und Tennis (Humpert, 2006; Oelenberg, 2006) zeigten, neben den mindestens gleichstarken Zuwächsen in den Aneignungsphasen, durch weitere Leistungsanstiege in der anschließenden Lernphase im Rahmen der Gedächtnis(Retentions)tests, zusätzliche Vorteile für den differenziellen Lernansatz (Abb. 2). Von besonderem Interesse war im Rahmen der Kugelstoßuntersuchung nicht nur die signifikant größere Leistungssteigerung, sondern eine gleichzeitige Zunahme der Leistungskonstanz nach variablem Training, wohingegen die auf Konstanz trainierende klassische Gruppe eine Zunahme der individuellen Streuung aufwies (Abb. 3).

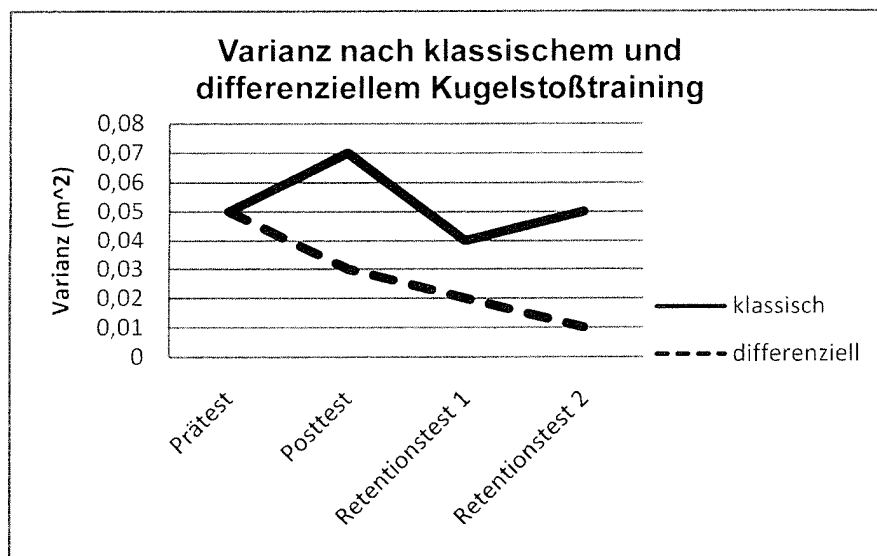


Abb. 3: Individuelle Varianz von 3 Stößen vor, während und nach differenziellem und klassischem Kugelstoßtraining (vgl. Beckmann & Schöllhorn, 2006)

Nachdem diese Phänomene in mehreren Experimenten bestätigt wurden, sollten die Effekte durch zusätzliches mentales Training in dieser Lernphase unterstützt werden (Oelenberg, 2006). Hierzu wurden 30 Anfänger über einen Zeitraum von drei Wochen bei zwei Trainingseinheiten pro Woche in Anlehnung an den differenziellen Lernansatz in den Tennisaufschlag einge-

führt. Anschließend wurde die Gesamtgruppe in drei Gruppen à 10 Probanden aufgeteilt. Die Gruppen wurden anhand eines sportmotorischen Tests parallelisiert, bei dem fünf Aufschläge mit Zielvorgabe auszuführen waren und neben der Präzision auch die Geschwindigkeit gemessen wurde. Eine Gruppe hatte entsprechend den vorangehenden Experimenten drei Wochen Pause, eine zweite Gruppe bekam während der drei Wochen zweimal die Woche für eine Stunde zusätzliche Literatur über den Tennisaufschlag zum Lesen und die dritte Gruppe erhielt über die gleiche Dauer dreimal die Woche eine Stunde zusätzliches mentales Training in Anlehnung an Draksal und Nittinger (2002) mit Videoaufnahmen früherer Tennisaufschläge, Bewusstmachen von Schlüsselpunkten, mentales Wiederholen etc. Nach diesen drei Wochen körperlicher Pause wurde nochmals der Test durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigten in der ersten Gruppe die weiteren Leistungsanstiege, in der Literaturgruppe waren immer noch Leistungsanstiege zu erkennen, die jedoch niedriger waren als die der ersten Gruppe. Auf den ersten Blick überraschend war der signifikante Leistungsabfall der mentalen Trainingsgruppe (Abb. 4). Auf den zweiten Blick führte die Interpretation zur erweiterten Bestätigung der Theorie des differenziellen Lernansatzes.

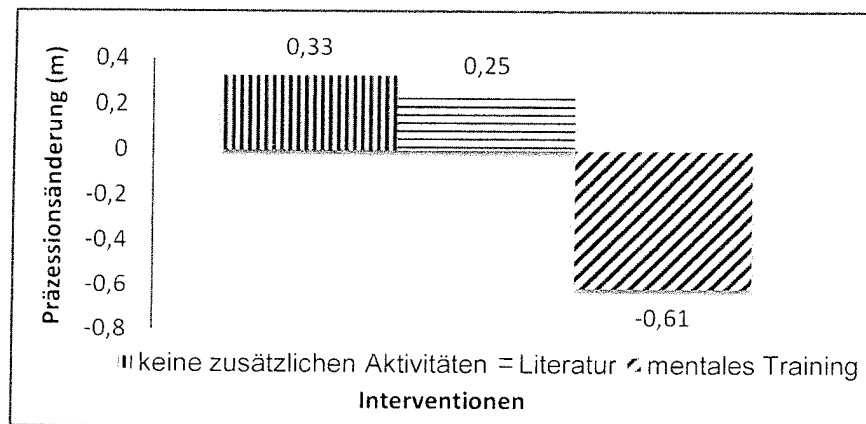


Abb. 4: Leistungsänderungen beim Tennisaufschlag in der Präzession während drei Wochen körperlicher Pause

Gehen wir davon aus, dass sich innerhalb von drei Wochen Tennispause in größter Näherung der Körper der Tennisspieler geändert hat, durch das mentale Training und die regelmäßige mentale Wiederholung der Videoaufnahmen aus der ersten Phase die „kognitiven Anteile“ der Probanden jedoch auf dem „Stand von vor drei Wochen“ gehalten wurden, so mündet dies in einer nicht optimalen Übereinstimmung von Körper und Kopf. Hier wäre Forschungspotential für psychologische Modellentwicklungen vorstellbar. Die Erweiterung der Theorie zum differenziellen Lernen zielt hier auf die Abhängigkeit der klassischen Lern- und Trainingsansätze in der Literatur von ihren meist latenten Annahmen ab. Bei der Annahme, dass das System „Mensch“ über solch kurze Zeiträume, mit Ausnahme von Kleinkindalter,

Pubertät und Altern, nahezu unverändert bleibt, dann ist die Konsequenz einer sukzessiv abnehmenden Schwankung bis hin zum wiederholenden Einschleifen plausibel (Abb. 5a). Die vorliegenden Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass sich das System „Mensch“ schon in relativ kurzer Zeit verändert und damit per se die geringe Wahrscheinlichkeit von identischen Wiederholungen Bestätigung erfährt. Nehmen wir im einfachsten Falle eine lineare Änderung für das System Mensch an (Abb. 5b), so gilt es von Anfang an mit mehr Schwankungen aufzuwarten, um mit den Änderungen des Systems „Mensch“ Schritt zu halten. Der Verdacht, dass durch das klassische Training mit hohen Trainingsumfängen und vielen Wiederholungen versucht wird, das System „Mensch“ künstlich konstant zu halten, liegt hier nahe. Inwiefern mentales Training in Verbindung mit wiederholungsorientiertem Lernen eine Steigerung der Schwankungen darstellt und nur in seiner Verbindung Leistungssteigerungen fördert, bedarf noch weiterer Forschung. Wird jedoch mit hohem Umfang an Schwankungen gelernt (angeeignet), scheint mentales Training im klassischen Sinne eher hemmend zu wirken, da es die Schwankungen vergleichsweise reduziert. Hinweise auf vergleichbare Effekte (praktisch differenzielles vs. differenzielles mentales Training) liefert Kremer (2013).

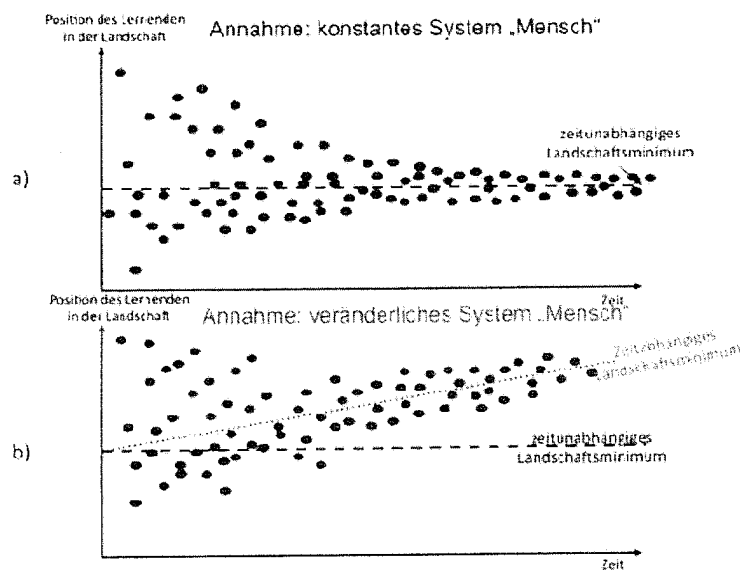


Abb. 5: Von der Annahme über das System (a-konstant; b-veränderlich) abhängige Schwankungen

Wird ein alternativer und auf den ersten Blick befremdlich anmutender Lehr- und Lernansatz entwickelt und bestätigt, ist eine nächste Frage nach dem

Zusammenhang zu bisherigen Lernansätzen, die bislang ja auch erfolgreich waren, zu klären. So brauchte es für den Modellzweck des später erweiterten Differenziellen Lernansatzes (Schöllhorn, 2005; Schöllhorn et al., 2006) nach erfolgreicher Modellüberprüfung des ersten Modells, eine Erklärung anderer motorischer Lernansätze auf der Basis der gleichen Modellvariablen. In einem ersten Schritt sollen also die klassischen motorischen Lernansätze auf der phänomenologischen Ebene der Lernraten, d. h. Lernfortschritt pro Zeiteinheit, durch unterschiedliche Umfänge an Schwankungen erklärt werden. Eine Grundlage hierfür bildete die Grundannahme der Nichtwiederholbarkeit identischer Bewegungen, wie sie von Heraklit (520-460 v. Chr.) durch „Du steigst niemals zweimal in denselben Fluss“ allgemein und durch Bernsteins (1967) „Wiederholen ohne zu wiederholen“ für den bewegungswissenschaftlichen Bereich spezifisch formuliert wurde. Wird eine Bewegung ständig wiederholt, dabei jedoch keine identische Wiederholung ausgeführt, lässt sich nur schwer klären, inwiefern ein eventuell resultierender Lernfortschritt durch die identischen Anteile der Bewegung oder durch die Unterschiede zustande kam. Da die Wahrscheinlichkeit identischer Wiederholungen bei lebenden Systemen verschwindend gering ist, liegt es in einer Konsequenz nahe, den Einfluss unterschiedlicher Umfänge an Schwankungen auf das Lernen zu testen, wie es im Modell des differenziellen Lernens im engeren Sinne durchgeführt wurde. Versuchen wir das Modell des differenziellen Lernens zu verallgemeinern, so gilt es, auf der gleichen Grundlage andere Lernmodelle zu erklären, d. h. im konkreten Fall sind die Phänomene, die bei anderen Lernansätzen, wie dem Wiederholungslernen, dem Lernen anhand der Variability of Practice-Hypothese oder dem Kontext-Interferenz-Lernen, zu beobachten sind, ebenfalls durch den dabei verursachten Schwankungsumfang zu erklären. Im Falle des Wiederholungslernens zeigt schon die geringe Wahrscheinlichkeit identischer Wiederholungen die ständige Präsenz von Schwankungen, d. h. das Phänomen der Schwankung kann hier als Erklärungsansatz für die beobachtbaren Lernfortschritte herangezogen werden. Die Variationen im Modell der „Variability of practice“ (VP) (Shapiro & Schmidt, 1982), die zu einer Stabilisierung vorhandener generalisierter motorischer Programme führen und deutlich über das Maß der Schwankungen im Wiederholungslernen hinausgehen, können unmittelbar Schwankungen gleichgesetzt werden. Da das Modell jedoch im Unterschied zum differenziellen Lernen von einer Konstanz der Invarianten wie „relative timing“ und „relative forces“ im Trainings- oder Aneignungsprozess ausgeht, werden die Schwankungen als vergleichbar kleiner eingestuft. Der Ansatz des Kontext-Interferenz-(KI)-Lernens (Battig, 1966; Shea & Morgan, 1979) nimmt neben den inhaltlichen Variationen der VP-Theorie noch Variationen in der zeitlichen Strukturierung in Form von geblockter, zufälliger oder serieller Reihung der Lerninhalte mit auf. Hierfür wird um eine zu erlernende Bewegung (=Text) ein Kon(!)text in Form von konkreten zusätzlichen Bewegungen angeboten. Wird ein Volleyballaufschlag im Sinne des KI-Lernens erlernt, wechselt man im randomisierten Fall beispielsweise zufällig zwischen Aufschlag, Annahme, oberem Zuspiel und Hechtbagger hin- und

hergewechselt, um am Ende wieder den Aufschlag zu testen. Bei kleinsten Bewegungen (Brady, 2008) führt dies im randomisierten Fall häufig zwar zunächst zu reduzierten (interferen) Aneignungsraten, jedoch anschließend zu erhöhten Lernraten im Vergleich zum Aneignen mit zusätzlichen Übungen in geblockter Reihenfolge (Battig, 1972). Durch die zusätzliche Variation in der Reihenfolge können dem KI-Lernen aus Sicht des differenziellen Lernens daher erhöhte Schwankungen im Vergleich zum VP-Lernen zugeschrieben werden. Im Unterschied zum KI-Lernen stellt das DL keinen Kontext für eine konkret zu erlernende Bewegung bereit, sondern betrachtet die zu erlernende Bewegung als einen wesentlich größeren Lösungsraum, den es „verrauscht“ und situativ abzutasten gilt. Am deutlichsten wird der Unterschied zwischen dem DL und KI-Lernen beim gleichzeitigen Erlernen von zwei Bewegungen. Während in Anlehnung an den KI-Ansatz randomisiert oder seriell zwischen den beiden idealtypischen Vorstellungen hin- und hergewechselt wird, ergeben sich beim DL-Ansatz weitere Unterscheidungen. Einmal können beide Bewegungsformen jeweils geblockt mit zusätzlichen Schwankungen gelernt werden und zum anderen kann zwischen den verrauscht zu lernenden Bewegungen zufällig oder seriell hin- und hergewechselt werden (Schöllhorn & Paschke, 2006; Hegen & Schöllhorn, 2012). Für eine erste exemplarische Überprüfung des verallgemeinerten Modells in Bezug auf das KI-Lernen, wurden von fortgeschrittenen Tennisspielern erste und zweite Aufschläge geblockt nacheinander und seriell abwechselnd ausgeführt und biomechanisch analysiert (Gebkenjans et al., 2009; Janssen et al., 2010). Die komplexe Mustererkennung der Bewegungsabläufe liefert für die ständig wechselnden Aufschläge zwischen erstem und zweitem Aufschlag eine deutliche Zunahme der Merkmalsschwankungen (Abb. 6, I). Dies zeigt sich unter anderem in einer Abnahme der Erkennungsraten bei serieller Ausführung von erstem und zweitem Aufschlag im Vergleich zu geblockter Ausführung (Gebkenjans et al., 2009; Janssen et al., 2010). Sind sich erster und zweiter Aufschlag zu ähnlich, wird bei seriellem Training keine trennende Erkennung mehr möglich aufgrund der Steigerung der Variation der einzelnen Aufschlagformen und der damit verbundenen Überlappung der Streubereiche (Abb. 6, II). Die Ergebnisse bestätigen demnach das Modell, wonach hohe und niedrige kontextuelle Interferenz durch zusätzliche Übungen mit unterschiedlich großen Steigerungen an Schwankungen der Zielübung einhergeht.

Ein wesentlicher Vorteil der Beschreibung des Bewegungslernens anhand von unterschiedlich großen Schwankungen liegt u. a. in der zusätzlichen Erklärung von Phänomenen, wie sie im Rahmen von KI-Experimenten (Brady, 2008) auftreten und nicht in bisherige Erklärungsschemata einordnet werden können. So lassen sich die üblichen KI-Effekte nur schwer bei Sportbewegungen und nicht bei Anfängern oder beim Erlernen komplexer Bewegungen nachweisen (Brady, 2008). Aus systemdynamischer Sicht weisen Anfänger und komplexe Bewegungsaufgaben selbst im Falle von Wiederholungen große Schwankungen auf. Zeigen jedoch Wiederholungen (= niedriges KI) und zufällige oder serielle Kontextwechsel gleich große

Schwankungen auf, wird es schwer, Unterschiede zwischen den Lernansätzen nachzuweisen. Interessanterweise scheinen Kinder während der ersten Lebensjahre extremen Gebrauch von dieser Art des Lernens zu machen: Sie variieren ständig, gehorchen den Eltern nur selten, probieren ständig Neues aus und das Ganze ohne große Rückmeldung durch die Eltern (Goldfield, 1995). Es scheint als hätte die Natur Kindern, deren Systeme sich noch stärker ändern, eine Form des Lernens bereitgestellt hat, die ihnen erlaubt, unter z. B. biomechanisch völlig veränderten Bedingungen von Muskeln, Hebeln etc. einmal Gelerntes auch noch später unter völlig veränderten Bedingungen anwenden zu können. Diese Form des „Aha-Lernens“ wird in unserer Erinnerung typischer Weise beim Erlernen des Radfahrens erlebt. Niemand hat Fahrradfahren durch Instruktionen und externe Rückmeldungen erlernt, sondern stets nur durch eigenes Ausprobieren, Hinfallen und immer wieder neues Probieren. Interessanterweise wird das Radfahren danach nicht mehr verlernt, es wird noch im Alter mit völlig anderem Körper und Kopf beherrscht, auch wenn man es zwischenzeitlich nicht mehr praktiziert hat. Dies scheint mit nahezu allem zu geschehen, das selbstständig erlernt wird, wohingegen das auf Wiederholungen beruhende Lernen von Fremdem offenbar den typischen Vergessenskurven unterliegt. Inwiefern die Phänomene, die beim motorischen Lernen mit dem „Spacing-effekt“ zu beobachten sind (Schmidt & Bjork, 1992), einer Zunahme an Schwankungen zugeordnet werden können, bedarf weiterer Forschung.

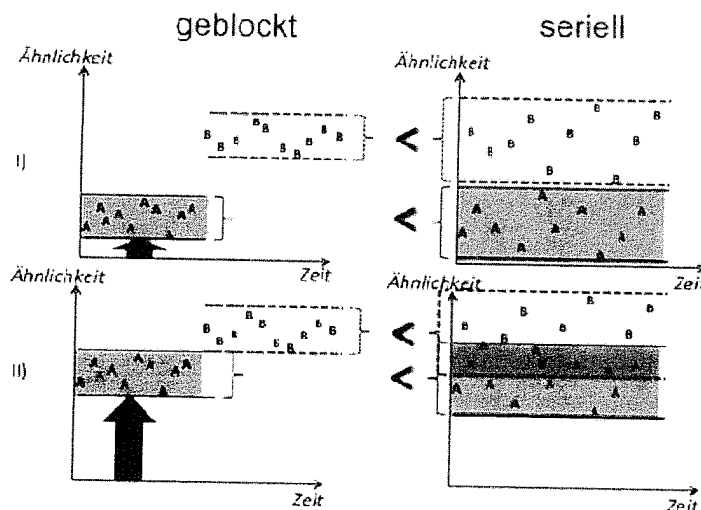


Abb. 6: Schematische Darstellung der Streuung der ersten (A) und zweiten (B) Aufschläge bei geblocktem (links) und seriellm Ausführen. (I) Erster und zweiter Aufschlag sind sehr unterschiedlich, (II) erster und zweiter Aufschlag sind sehr ähnlich.

Den Phänomenen des DL sollte mit Hilfe von EEG-Untersuchungen in einer ersten Annäherung nachgegangen werden. Im Rahmen einer Pilotstudie führten zwei Gruppen 15 Minuten lang Badmintonaufschläge durch, eine Gruppe wiederholte dabei ständig die gleiche Bewegung, die andere Gruppe schlug im Sinne des DL im engeren Sinne auf, also keine Wiederholung und keine Korrektur. Im Anschluss wurde die Gehirnaktivierung mittels EEG gemessen, während eine weiße Fläche anvisiert wurde. Die EEG-Aktivierungen waren in beiden Gruppen signifikant unterschiedlich. Die Wiederholungsgruppe (Abb. 7a) verblieb nahezu unverändert im Beta-Frequenzbereich, in der Abbildung dargestellt durch nahezu keine alpha-Frequenzen im somatosensorischen Bereich zwischen den Ohren und im Hinterkopf (blau eingefärbt). Bei der differenziellen Lerngruppe waren in dem gleichen Bereich signifikante Zunahmen an alpha- und theta-Aktivierungen (Abb. 7b) zu beobachten (Henz, Hofmann & Schöllhorn, 2013). Sowohl die Alpha als auch die Theta-Frequenzen scheinen Voraussetzung für erfolgreiches Lernen zu sein (Freyer, Becker, Dinse & Ritter, 2013). Dabei wirkt differenzielles mentales Training zwar auch leistungssteigernd, jedoch nur aktives differenzielles Training führt zu signifikanten Änderungen im alpha-Frequenzbereich (Leinberger, 2013). Einen positiven Einfluss von differenziellem Seilhüpfen auf kognitives Lernen konnte von Sesterhenn (2014) gezeigt werden. Nach 5-minütigem differenziellem Seilhüpfen über 3 Wochen mit 4 mal pro Woche gefolgt von 15-minütigen Rechenübungen lassen sich im Vergleich zu normalem beidbeinigen Seilhüpfen in Verbindung mit Rechenübungen signifikant bessere Rechenleistungen identifizieren.

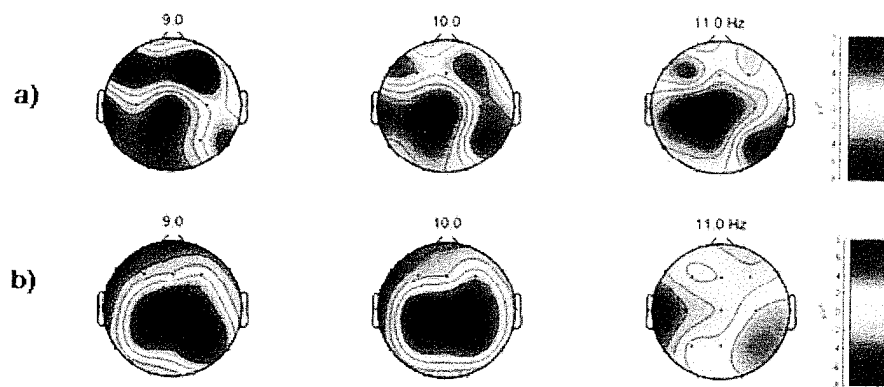


Abb. 7: Alpha-Frequenzaktivierung (EEG) nach 15-minütigem Wiederholungstraining (a) und nach 15-minütigem Differenziellem Training (b) eines Badmintonaufschlags (Henz et al., 2013)

5 Bewegungslernen nach dem Modell des Differenziellen Lernens

Vor dem Hintergrund der Beschreibung unterschiedlicher motorischer Lernansätze, mittels Hilfe unterschiedlich starken Rauschens während eines Lernprozesses, lassen sich die motorischen Lernansätze in einem Schaubild hypothetisch zusammenfassen. In Abb. 8 sind die bekanntesten motorischen Lernansätze hypothetisch in Abhängigkeit von deren Schwankungsumfang und Lernraten aufgetragen. Hiernach sind die geringsten Schwankungen innerhalb des Wiederholungslernens zu beobachten, die größten beim Differenziellen Lernansatz. Steigern wir die Schwankungen noch weiter bis zu den sogenannten freien Bewegungen, nimmt der unmittelbare Nutzen für die zu erlernende Bewegung wieder ab. Würde also im Falle eines zu erlernenden Volleyballaufschlags nicht nur im Schulter-, Ellbogen-, Handgelenksbereich oder im Bereich der Kopfhaltung, der Beinbewegungen im Rahmen der Aufschlagbewegung variiert, sondern die Bewegungsvielfalt zusätzlich im Bereich des Radfahrens, des Eisschnelllaufs oder Hürdenlaufens gesucht, so würden zwar die Schwankungen noch mehr vergrößert, die Wahrscheinlichkeit, dass dies der Verbesserung des Volleyballaufschlags förderlich ist, wäre aus derzeitiger Sicht jedoch relativ gering und deshalb werden hier geringere Lernraten zugeordnet.

Inwiefern die Schwankungskurve einer Resonanzkurve im Sinne einer stochastischen Resonanz folgt, bedarf sicher weiterer Forschung. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass der Prozess des Lernens als Suche nach dem optimalen Rauschniveau verstanden werden kann. Die Rolle des Lehrers oder Trainers würde sich dahingehend ändern, dass er stets dafür Sorge zu tragen hat, genügend Schwankungen (Rauschen) im System zu halten. (In diesem Sinne wurden bereits 2001 der FC Barcelona und 2010 der FSV Mainz 05 beraten.) Auf der Ebene systemischer Betrachtung ist es dabei von nachgeordneter Bedeutung, inwiefern die Schwankungen dann konkret durch ständig zu ändernde Antizipation, durch variable Umgebungen oder durch kooperatives Lernen etc. bedingt sind. Sie wären auf jeden Fall individuell und situativ anzupassen. Dass hierzu nicht zwingend individuelle Betreuung notwendig ist, lässt sich aus den Individualergebnissen zum DL im Kugelstoßen ableiten (Beckmann & Schöllhorn, 2006). Werden einer Gruppe nur vier Übungen zum Erlernen einer Bewegungstechnik angeboten, so ist die Wahrscheinlichkeit recht groß, dass diese vier Übungen mit Wiederholungen nur für wenige Gruppenmitglieder die optimale Schwankung darstellen. Werden einer Gruppe jedoch 30 und mehr Varianten im Sinne des DL angeboten, steigt die Wahrscheinlichkeit schnell, dass für jeden „etwas“ dabei ist. DL in der Gruppe kann also entsprechend der Vorhersagen als individuelle Förderung (Schöllhorn, 1999) in breitem Umfang verstanden werden. Durch die Vielzahl an Übungen kann jeder Lernende selbstorganisiert zu einer situativ optimalen Lösung gelangen. In diesem Zusammenhang geht Salthe (1993) sogar von der Selbstorganisation als Voraussetzung für Individuation aus. Werden die intervenierenden Schwankungen

zusätzlich auf die situativen Schwankungen einzelner Schüler, Patienten oder Athleten abgestimmt, scheinen sich die Effekte noch zusätzlich optimieren zu lassen (Schöllhorn, Beckmann & Davids, 2012).

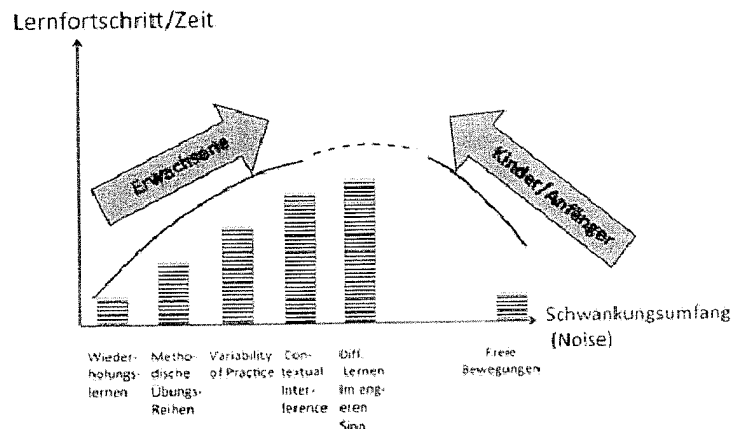


Abb. 8: Hypothetische Darstellung der bekanntesten motorischen Lernansätze in Abhängigkeit von deren Schwankungen während des Lernprozesses

Verschiedenen Berichten von differenziell Lernenden zur Folge führt diese Art des Lernens interessanterweise zu Leistungssteigerungen, die auch über längere Zeit hinweg stabil reproduziert werden können, jedoch auch dazu, dass die Lernenden nicht beschreiben können, was sich verändert hat und man nach DL-Einheiten im engeren Sinne „einen eigenartig wachen, jedoch entspannten Geisteszustand“ (Sesterhenn, 2014) verspürt.

6 Folgerungen für das Lehren und Lernen von Bewegungen

Insgesamt liefert der systemdynamische Ansatz mit seiner Ableitung in Form des differenziellen Lernansatzes grundlegende Erweiterungen und Anregungen für das Lehren und Lernen von Bewegungen. Durch den differenziellen Lernansatz und die damit initiierte Selbstorganisation werden den Lernenden individuelle und situative Lösungen ermöglicht, die bisherige personenunabhängige Lernansätze nicht berücksichtigen. Aufgrund der ständigen Variationen und des damit verbundenen gesteigerten sensorischen Eingangs wird die überschätzte Rolle der Rückmeldung durch den Trainer oder Lehrer auf ein Minimum reduziert. Lernen als unterschiedliches Rauschniveau zu betrachten, ermöglicht andere motorische Lernansätze zu vereinen und führt zu mindestens vergleichbaren Aneignungs- und Lernsteigerungen bisheriger Lernansätze. Parallel verändert sich das Verständnis des Lehrers oder Trai-

ners, indem er lediglich für ein optimales Schwankungsniveau Sorge zu tragen hat. Sind die Lernenden zu kreativ, obliegt die Aufgabe des Lehrenden oder Trainers eher in einer Begrenzung der Schwankungen. Im anderen, wesentlich häufigeren Fall, ist das Repertoire der Interventionen wohl unendlich groß. Im Unterschied zu den meisten Lehransätzen wird jedoch im DL-Ansatz nicht für alle die gleiche Übungsreihenfolge eingefordert, sondern die Lernenden werden beobachtet und anhand der beobachteten Schwankungen werden die folgenden Bewegungsaufgaben in Form von Verstärkung der Schwankung gestellt. Im Rahmen einer Gruppenintervention hilft auch, die jeweils auffallendste Schwankung innerhalb der Gruppe zum Ausgang für die nächste Bewegungsvariation für die gesamte Gruppe zu wählen, um eine gruppenspezifische Übungsauswahl zu kreieren. Werden anfangs noch im Übergang vom Lehrer(innen)-orientierten Lernen zum Lerner(innen)-orientierten Lernen von Lehrenden oder Trainer(inne)n Vorschläge für die vielfältigen Übungsschwankungen geliefert, so wird die Kreativität zunehmend wieder in den Verantwortungsbereich der Lernenden gegeben, indem zum Ausdenken von mehreren Variationen einer beobachteten oder gezeigten Bewegungsform aufgefordert wird („Wie viele Variationen fallen euch zu dieser Bewegungsform ein?“). In einer Gruppe führt alleine die Forderung, dass jeder eine Übung demonstrieren soll, schon zu einer gesteigerten Aktivität, da sich die Lernenden zum einen unaufgefordert gegenseitig dazu anhalten, dass jeder eine neue Variation zu liefern hat und zum anderen recht schnell registriert wird, dass mit zunehmender Zeit mehr Kreativität notwendig wird, um Neues für die Gruppe zu liefern. Ähnliches wird erzielt, wenn jeweils zum Vorangehenden eine Variation zu finden ist. Ein wesentliches Ziel dieser DL-basierten Vorgehensweisen ist zum einen die genaue Beobachtung und Abstimmung der Intervention auf das Beobachtete und zum anderen die Initiierung einer Selbstorganisation, die durch eine Steigerung der Bewegungsschwankungen zu besseren Leistungen führen und ferner die Wahrscheinlichkeit erhöht, zum eigenen Selbst mit Eigensinn im ursprünglichen Sinne zu finden und nicht zur ungeprüften Übernahme eines Fremdsinns.

7 Literatur

- Adams, J. A. (1987). Historical review and appraisal of research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. *Psychological Bulletin*, 101 (1), 41-74.
- Ballreich, R. (1980). Aspekte der Modellierung in der Biomechanik des Sports. In W. Baumann (Hrsg.), *Biomechanik und sportliche Leistung* (S. 113-128). Schorndorf: Hofmann.
- Ballreich, R. (1996). Grundlagen der Modellmethode. In R. Ballreich & W. Baumann (Hrsg.), *Grundlagen der Biomechanik des Sports* (2. Auflage) (S. 119-159). Stuttgart: Enke.
- Battig, W. F. (1966). Facilitation and interference. In E. A. Bilodeau (Hrsg.), *Acquisition of skill* (S. 215-244). New York: Academic Press.

- Battig, W. F. (1972). Intratask interference as a source of facilitation in transfer and retention. In J. F. Voss (Hrsg.), *Topics in learning and performance* (S. 131-159). New York: Academic Press.
- Beckmann, H. & Schöllhorn, W. I. (2003). Differenzielles Kugelstoßtraining. In J. Krug & T. Müller (Hrsg.), *Messplätze, Messplatztraining, Motorisches Lernen* (S. 108-112). Sankt Augustin: Academia.
- Beckmann, H. & Schöllhorn, W. I. (2006). Differenzielles Lernen im Kugelstoßen. *Leistungssport*, 36 (4), 44-50.
- Beckmann, H., & Gotzes, D. (2009). Differenzielles Lehren und Lernen in der Leichtathletik – ein Sprintexperiment im Sportunterricht. *sportunterricht*, 58 (2), 46-50.
- Bertalanffy von, L. (1969). *General System Theory*. New York: George Braziller.
- Bischof, N. (1995). *Struktur und Bedeutung – eine Einführung in die Systemtheorie für Psychologen zum Selbststudium und für den Gruppenunterricht*. Bern: Huber.
- Brady, F. (2008). The Contextual Interference Effect and Sport Skills. *Perceptual and Motor Skills*, 106 (2), 461-472.
- Draksal, M. & Nittinger, N. (2002). *Mentales Tennis-Training*. Leipzig: Draksal.
- Ebeling, W. & Feistel, R. (1982). *Physik der Selbstorganisation und Evolution*. Berlin: Akademie.
- Freyer, F., Becker, R., Dinse, H. R., & Ritter, P. (2013). State-dependent perceptual learning. *Journal of Neuroscience*. 33 (7), 2900-7.
- Gebkenjans, F., Beckmann, H., & Schöllhorn, W. I. (2007). Does low and high contextual interference lead to different levels of noise? [Abstract]. In P. Beek & R. van den Langenberg (Eds.), *3rd European Workshop on Movement Sciences. Book of Abstract* (pp. 153-154). Köln: Sportverlag Strauß.
- Goldfield, E. C. (1995). *Emergent Forms – Origins and early development of human action and perception*. New York: Oxford University Press.
- Haken, H., Kelso, J.A.S. & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51, 347-356.
- Haken, H. & Wunderlich, A. (1991). *Die Selbststrukturierung der Materie*. Braunschweig: Vieweg.
- Harbordt, S. (1974). *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*. Reinbek: Rowohlt.
- Hegen, P. & Schöllhorn, W. I. (2012). Gleichzeitig in verschiedenen Bereichen besser werden, ohne zu wiederholen? Paralleles differenzielles Training von zwei Techniken im Fußball. *Leistungssport*, 42 (3), 17-23.
- Henz, D., Hofmann, M. & Schöllhorn, W. I. (2013). Increased EEG theta and alpha activity indicate somatosensory working memory processes in differentia badminton serve training. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó, & E. Tsolakidis (Eds.), *Conference Proceedings of the 18th Annual Congress on the European College of Sport Science ECSS Barcelona 2013* (p. 853). Barcelona: Open Print.
- Janssen, D., Gebkenjans, F., Beckmann H., & Schöllhorn, W. I. (2010). Analyzing learning approaches by means of complex movement pattern analysis. *International Journal of Sport Psychology*, 41 (Special issue). 18-21.
- Kremer, A. K. (2013). *Die Wirkung von differenziell-mentalem vs. differenziell-physischem Training auf die Schusspräzession im Fußball*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Universität Mainz.
- Leinberger, O. (2013). *Wirkung von differenziellem und mentaldifferenziellem Training beim Torschusstraining im Fußball auf die EEG-Spontanaktivität*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Universität Mainz.

- Magill, R. A. (1993). *Motor learning: Concepts and applications* (4th edition). Dubuque, IA: Brown and Benchmark.
- Magill, R. A., Charnberlin, C. J. & Hall, K. G. (1991). Verbal knowledge of results as redundant information for learning an anticipation timing skill. *Human Movement Science*, 10 (4), 485-507.
- Mendoza, L. (1993). *Biomechanisch gestützte Techniksteuerung im Hochleistungssport*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Römer, J., Schöllhorn, W. I., Jaitner, T. & Preiss, R. (2003). Differenzielles Lernen bei der Aufschlagannahme im Volleyball. In J. Krug & T. Müller (Hrsg.), *Messplätze, Messplatztraining, Motorisches Lernen* (S. 129-133). Sankt Augustin: Academia.
- Römer, J., Schöllhorn, W. I., Jaitner, T. & Preiss, R. (2009). Differenzielles Lernen im Volleyball. Ein Unterrichtsvorhaben zur Verbesserung der Annahme. *sportunterricht*, 58 (2), 41-45.
- Salthe, S. N. (1993). *Development and Evolution – Complexity and Change in Biology*. Cambridge: MIT-Press.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R. A. (1985). The search for invariance in skilled movement behavior. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56, 188-200.
- Schöllhorn, W. I. (1999). Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport*, 29 (2), 7-11.
- Schöllhorn, W. I. (2005). Differenzielles Lehren und Lernen von Bewegung – Durch veränderte Annahmen zu neuen Konsequenzen. In H. Gabler, U. Göhner, & F. Schiebl (Hrsg.), *Zur Vernetzung von Forschung und Lehre in Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft* (S. 125-135). Hamburg: Czwilina.
- Schöllhorn, W. I. & Paschke, M. (2007). Differenzielles Training. *Volleyballmagazin*, 12, 28-36.
- Sesterhenn, T. (2014). *Einfluss von differentielltem Seilhüpfen auf das Erlernen von Mathematikaufgaben*. Unveröffentlichte Staatsexamensarbeit. Universität Mainz.
- Shapiro, D. C. & Schmidt, R. A. (1982). The schema theory: Recent evidence and developmental implications. In J. A. S. Kelso & J. E. Clark (Eds.), *The development of movement control and co-ordination* (pp. 113-150). New York: Wiley.
- Shea, J. B. & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 5 (2), 179-187.
- Silverman, S. (1994). Communication and motor skill learning: what we learn from research in the gymnasium. *Quest*, 46 (3), 345-355.
- Swinnen, S., Van den Berghe, J. & Van Assche, E. V. (1985). Role of cognitive style constructs field dependence-independence and reflection-impulsivity in skill acquisition. *Journal of Sport Psychology*, 8 (1), 51-69.
- Swinnen, S. P. (1996). Information feedback for motor skill learning: a review. In H. N. Zelaznik (Ed.), *Advances in motor learning and control* (pp. 37-66). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Trockel, M. & Schöllhorn, W. I. (2003). Differenzielles Torschussstraining im Fußball. In J. Krug & T. Müller (Hrsg.), *Messplätze, Messplatztraining, Motorisches Lernen* (S. 102-107). Sankt Augustin: Academia.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the machine*. Cambridge: MIT-Press.