

Differenzielles Lehren und Lernen in der Leichtathletik

Abstract

Der folgende Artikel fasst einen der Hauptvorträge der 9. Tagung der dvs-Kommission Leichtathletik am 9. und 10. Oktober 2008 in Mainz zusammen. Die Autoren geben einen kurzen Überblick über Probleme, die in der unkritischen Übernahme von vermeintlich bewährten Trainingsprinzipien und -methoden liegen. In der Folge werden die Vorteile einer alternativen Betrachtung des Trainings und speziell des Bewegungslernens anhand von neurophysiologisch, physikalisch und biomechanisch begründeten Phänomenen (Individualität und Nichtwiederholbarkeit von Bewegungen) erläutert. Ein kurzer, jedoch leicht verständlicher Einblick in die dafür verwendeten Verfahren wird dem Leser im Rahmen eines Exkurses geboten. Ausgehend von diesen Phänomenen wird die Entwicklung des Differenziellen Lernens (Schöllhorn, 1999) nachvollzogen. Die Möglichkeiten der praktischen Umsetzung des Differenziellen Lernens und die Darstellung seiner Effekte anhand einiger Studien bilden den Abschluss des Beitrags.

Besser zu sein als andere ist der Wunsch und das Ziel in vielen Sportarten und insbesondere in der Leichtathletik. Besser zu sein verbietet jedoch schon *per definitionem* Ebenmaß und geht in gleichem Atemzug einher mit der Betonung vom Ungewöhnlichen, vom Anderssein, vom Einzelnen, zusammengefasst vom „Individuellen“. Um besser zu sein als andere und um letztendlich „der Beste“ zu werden, kennt der Einfallsreichtum erfolgreicher Athleten selten Grenzen.

Trotz des Vorhabens der Schnellste, Kräftigste oder Ausdauerndste, d. h. einzigartig zu werden, verlassen sich viele Athleten und ihre Trainer auf dem Weg dorthin immer noch in hohem Maße auf Trainingsprinzipien, die in der Mehrzahl am Gleichen orientiert sind, also implizieren, dass verschiedene Personen auf ähnliche Trainingsreize mit ähnlichen Anpassungen reagieren. Im Kanon der Trainingsprinzipien beinhaltet allein das Prinzip der Individualität in seiner ursprünglichen Form (u. a. Matweijew, 1956; Letzelter, 1978) das Ungewöhnliche und Individuelle und steht damit fast im Widerspruch zu sämtlichen Prinzipien, die auf Gemeinsamkeiten zwischen Athleten basieren. Wurde dieses Prinzip der Individualität bei Matweijew (1956) noch als erstes und wohl wichtigstes Prinzip aufgeführt, wurde es im Laufe der Zeit immer weiter degradiert und im Wesentlichen nur noch zur Begründung für unerklärliche Ausnahmen, norm- und prinzipienabweichendes Verhalten herangezogen. Schon die politisch motivierte Modifikation des Prinzips auf eine „zunehmende Individualisierung“ (Harre, 1979) schränkt die Freiheit und Toleranz des Andersseins im Ursprung ein.

Führt ein Trainingsprozess nicht zum erhofften Fortschritt, werden die Ursachen oftmals in mangelnden Trainingsumfängen, mangelnden Voraussetzungen oder im Nichteinhalten der Trainingsvorschriften und -prinzipien gesucht – jedoch so gut wie nie im konkreten Inhalt der Trainingsprinzipien selbst. Wenn wir annehmen, dass

sich alle Athleten exakt an den vermeintlich korrekten Prinzipien des Trainings orientieren, dann blieben als Ursache für die Unterschiede zwischen Kreis- und Weltklasseathleten nur der zeitliche Trainingsaufwand und die jeweiligen Voraussetzungen übrig. Berücksichtigten wir außerdem, dass der zeitliche Aufwand für das Training mittlerweile ausgeschöpft zu sein scheint, dann blieben als Erfolgsrezept zur Weltklasse einzig die genetischen Voraussetzungen eines Athleten. Alternativ könnte man jedoch die immer noch zögerlich beginnende Skepsis an den Trainingsprinzipien (Zanon, 1997; Friedrich & Moeller, 1999; Mester & Perl, 2000; Schöllhorn, Beckmann & Michelbrink, 2005) in diesem Gedankenspiel konstruktiv erweitern.

Vor allem Untersuchungen aus den Naturwissenschaften weisen seit geraumer Zeit auf ein anderes Verständnis biologischer Phänomene im Zusammenhang von Ursache und Wirkung hin. Während dem traditionellen Trainingsbegriff ein starkes Kausalitätsverständnis zugrunde liegt und ähnlichen Trainingsmaßnahmen zumindest ähnliche Trainingserfolge zugeordnet werden, liefert das nichtlineare Kausalitätsverständnis Erklärungsmodelle für Phänomene, die in vielen Trainingsprozessen zu beobachten sind: So können aus einem großen Aufwand kleine Effekte resultieren und einem kleinen Aufwand können große Effekte folgen.

1 Grundlagen des Differenziellen Lehrens und Lernens

Diese Phänomene der Individualität und der Nichtlinearität finden sich nicht nur auf der Ebene der Trainingsprinzipien, sondern auch auf der Ebene der Bewegungsmuster von Athletinnen und Athleten. Exemplarisch sollen diese im Folgenden skizziert werden, um anschließend Implikationen für ein anderes Verständnis des Trainingsbegriffs untermauern zu können.

1.1 Individualität – Erkennen von Athleten und ihren Emotionen anhand ihrer Bewegungsmuster

Eine erste Bestätigung für die Individualität und Situativität von Bewegungen mit Hilfe biomechanischer Bewegungsmustervergleiche gelang am Beispiel von Lernprozessen bei Diskuswerfern (Schöllhorn, 1998; Bauer & Schöllhorn, 1997; vgl. zur Methodik den Exkurs). Anhand der Vergleiche von Gelenkwinkelverläufen in der zweistützigen Abwurfphase (Dauer: ca. 200 msec) konnten sowohl die Bewegungsmuster verschiedener Athleten als auch die Bewegungsmuster in einzelnen Trainingseinheiten voneinander unterschieden werden. Bei einer Untersuchung von Weltklasseathletinnen und -athleten im Speerwurf konnten neben der bereits geschilderten Erkennung der individuellen Bewegungsmuster auch die männlichen von den weiblichen Speerwurftechniken getrennt werden. Die Erkennung dieser individuellen Wurfstile/-techniken erfolgte anhand der zweistützigen Abwurfphase mit ebenfalls nur ca. 200 msec Dauer (Schöllhorn & Bauer, 1998) und konnte über alle Würfe innerhalb eines Beobachtungszeitraums von sechs Jahren hinweg gezeigt werden. Dabei unterschieden sich die Bewegungsmuster von Speerwerfern verschiedener Nationen stärker voneinander als die Bewegungsmuster innerhalb einer

Nation, was den Verdacht nahe legt, dass es trotz vergleichbarer Wurfweiten in der Weltspitze auch nationenspezifische Techniken gibt. D. h., dass selbst Weltklassewurfweiten mit unterschiedlichen Techniken geworfen werden können, diese Techniken einem nationenspezifischen Ideal untergeordnet, innerhalb dieses Ideals jedoch höchst individuell sind. Können allerdings anhand der Gelenkwinkelverläufe eines Athleten bei einer Bewegung von nur 200 msec Dauer die Nationalität und die Person (inkl. des Geschlechts) abgelesen werden, dann stellt sich u. a. die Frage, welche Funktion Leitbilder oder Idealtechniken im Sinne eines bislang sehr engen Technikverständnisses haben.

Diese Frage zu stellen wird um so wichtiger, wenn man weitere Studien heranzieht, die bei weiteren unterschiedlichen Bewegungen nachweisen konnten, dass Bewegungsmuster sowohl bei verschiedenen Leistungsstufen als auch bei unterschiedlichen Altersklassen höchst individuell sind (Weitsprung: Jaitner, Mendoza & Schöllhorn, 2001; Sprint: Schöllhorn, Röber, Jaitner, Hellstern & Käubler, 2001; Kugelstoßen: Bauer, Schöllhorn, Koller & Mendoza, 1997; Gehen: Schöllhorn, Nigg, Stefanynshyn & Liu, 2002). Wieder andere Untersuchungen deuten zusätzlich auf individuelle Anpassungsmechanismen bei gleichen Interventionen (ebd.) und sogar auf individuelle Interaktionen hin (Schöllhorn, Peham, Licka & Scheidl, 2001). Auch die Erkennung von Emotionen (Janssen, Schöllhorn, Lubienetzki, Fölling, Kokenge & Davids, 2008) und Ermüdungserscheinungen (Jäger, Alichmann & Schöllhorn, 2003) in Bewegungsmustern bei einer Dominanz der Individualität stellt den Einsatz von personenübergreifenden und situationsunabhängigen Trainingsempfehlungen in Frage.

1.2 Nichtwiederholbarkeit von Bewegungen – Ein Phänomen und seine Konsequenzen

Neben der Individualität wird seit langem auch die Nichtwiederholbarkeit einer Bewegung angenommen, d.h. die Unfähigkeit des Menschen, eine einmal ausgeführte Bewegung exakt zu wiederholen. Eine der ersten Erwähnungen dieser Idee findet sich in Heraklits (5. Jh. v. Chr.) bekanntem Aphorismus „Du steigst niemals zweimal in denselben Fluß“. Bernstein (1967) übertrug diese Idee auf den Bereich der Bewegungen mit seiner Idee vom „Wiederholen ohne zu Wiederholen“. Hatze (1986) schließlich sammelte wissenschaftliche Hinweise zur Unmöglichkeit, eine Bewegung identisch wiederholen zu können, d.h. dass selbst nach 13.000 Wiederholungen einer Bewegung die 13.001 Bewegungswiederholung wieder etwas Neues enthält, das beim bisherigen Lernprozess noch nicht auftrat. Dies zeigt sich im Bereich der Leichtathletik auf der Ebene des Bewegungsergebnisses recht anschaulich an den sehr stark schwankenden Schrittlängen im Anlauf von Weit- oder Hochspringern (Killing, 2004). Auf der Ebene der Bewegungsmuster, z. B. der Gelenkwinkelverläufe einer Bewegung zeigt sich dieses Phänomen in schwankenden Gelenkwinkelverläufen, die nie vollständig mit denen anderer Versuche übereinstimmen.

Weshalb trotz vorliegender Daten bislang keine entsprechenden praktischen Konsequenzen gezogen wurden, kann nicht endgültig geklärt werden. Naheliegend sind jedoch eine gewisse Systemträgheit und die Tendenz, Verantwortung für Widersprüche

zwischen Theorie und Realität auf nicht beeinflussbare Messfehler abzuschieben. Betrachten wir die bei Bewegungswiederholungen auftretenden Schwankungen als Abweichungen von einem vorgegebenen Wert, dann entspricht dies in klassischer Vorstellung eigentlich Bewegungsfehlern, die es zu minimieren gilt. Eine Schwierigkeit dabei ist jedoch, dass diese Schwankungen in allen lebenden Systemen auftreten. Selbst wenn wir einfache Fingerbewegungen (Haken, Kelso & Bunz, 1985) oder einen Sprintstart (Mendoza & Schöllhorn, 1993) über Jahre hinweg üben würden, wären trotzdem Schwankungen in der Bewegungsausführung zu beobachten und ferner wäre dabei die Wahrscheinlichkeit, dass bei diesen vielen Bewegungswiederholungen zwei identische auftreten verschwindend gering. Das liegt unter anderem daran, dass der Mensch, wie auch andere biologische Systeme, ständig Schwankungen unterworfen ist. So ändern sich z. B. die Lage des Körperschwerpunkts und damit die Gleichgewichtsverhältnisse des menschlichen Körpers mit jedem Atemzug oder mit der Verschiebung des Blutvolumens durch den Herzschlag. Andere Änderungen werden z. B. durch Wachstumsprozesse, durch die Anpassungen an Trainingsreize (z. B. Muskelzuwachs) durch veränderte Tages-/ Jahreszeiten, Lernen oder Ermüdung verursacht. Wenn die Wahrscheinlichkeit für zwei identische Bewegungen einer Person allerdings derart gering ist, dann ergibt sich folgendes Problem: Ist jede Bewegung nur ein klein wenig anders als alle vorangegangenen und alle folgenden Bewegungen, dann kann letztlich nie die Wettkampfbewegung im traditionellen Sinne trainiert werden, denn diese wird wiederum anders als die Bewegungen davor und danach sein. Versucht man aber, den Wettkampf durch viele Wiederholungen der Bewegung vorzubereiten (das so genannte „Einschleifen“), dann tritt im Rahmen dieser Wiederholungen immer ein mehr oder weniger großes „Rauschen“ auf (vgl. Exkurs) – Was jedoch ist dann die Ursache für den Lernerfolg? Die identische Wiederholung der Bewegung kann es nicht sein. In diesem Zusammenhang ist es interessant, dass die einzigen Systeme, die sich durch die völlige Abwesenheit von Schwankungen auszeichnen Maschinen sind. Diese wiederum sind jedoch zumeist unfähig zu lernen oder sich an neue Situationen anzupassen. Betrachtet man hingegen den Lernprozess von Säuglingen und Kleinkindern, stellt man fest, dass Phänomene wie Krabbeln, Gehen, Greifen oder das Essen nicht durch die Imitation eines Vorbilds entstehen oder durch das zielgerichtete Wiederholen einer Bewegung: Vielmehr probieren Kinder in diesem Alter selbstständig alle möglichen Bewegungsformen aus. Aus diesen, zum großen Teil auch chaotischen Bewegungen bilden sich selbstorganisierend zunächst genügend differenzierte und zweckmäßige Fertigkeiten aus (Goldfield, 1993). Genutzt wird dabei auch die Fähigkeit des menschlichen Gehirns zur Interpolation, d. h. aus dem Unterschied oder der Differenz zwischen zwei Bewegungen kann das Gehirn den dazwischen liegenden Bereich abschätzen. Versteht man die ständigen Änderungen und Schwankungen in den Bewegungsmustern als Rauschen, so scheint das „Ver-rauschen“ der zu erlernenden Bewegung eine der erfolgreichsten und effektivsten Formen des Lernens zu sein; immerhin lernt der Mensch nie wieder soviel und so schnell wie in den ersten Lebensjahren.

Da weder bei Spitzenathleten noch bei Kleinkindern identische Bewegungswiederholungen zu beobachten bzw. zu messen sind, während sie gleichzeitig ihre Leistung steigern bzw. ein umfangreiches Bewegungsrepertoire erwerben, liegt die Vermutung nahe, dass die ständigen Schwankungen und Fluktuationen beim Ausführen einer Bewegung keine „Fehler“ sondern eine notwendige Voraussetzung für das Lernen biologischer Systeme sind. Dann können jedoch auch die so genannten Fehler während des Lernprozesses im Sinne von Abweichungen von der vom Trainer intendierten Idealtechnik weniger als ein Hindernis für das Lernen sondern vielmehr als dessen Ursache betrachtet werden. Die Vermeidung von Fehlern oder die Einschränkung von Schwankungen und Variationen in einem typischen Lernprozess wären dann grundlegend zu überdenken.

1.3 Adaptation – Individualität und Nichtwiederholbarkeit erfordern neue Ziele für Lernprozesse

Wenn Bewegungen nicht nur höchst individuell sind sondern zudem auch ständigen Schwankungen unterliegen, dann scheint es wenig plausibel, als Lern- und Trainingsziel eine stabile Idealtechnik nach traditionellem Verständnis zu wählen. Die geringe Wahrscheinlichkeit, eine Bewegung identisch zu wiederholen, schließt das Stabilisieren einer Bewegung, die dann im Wettkampf nur noch abgerufen werden muss, aus. Bei Diskuswerfern stellt man trotz schwankender Ausgangsbedingungen der Bewegung fest, dass erfolgreiche Athleten die Abflugparameter so gestalten, dass das Ergebnis der Bewegung relativ konstant bleibt. Bedenkt man, dass eine Schwankung in der Weite der Wurfauslage eine Änderung der Abwurfhöhe um wenige Zentimeter verursachen kann, dann müsste der Athlet dies durch Anpassung des Abwurfwinkels ausgleichen. Das Ziel des Lernens scheint demnach vielmehr darin zu bestehen, den Athleten in die Lage zu versetzen, die ständigen Schwankungen in einem Teil der Bewegung durch Schwankungen in anderen Teilen der Bewegung auszugleichen, d. h. seine Bewegung auf die sich ständig ändernden Bedingungen anzupassen.

Eine weitere Schwierigkeit bisheriger Ansätze zum Bewegungslernen bzw. der Bewegungsautomatisierung ist in Bezug auf die Vorbildorientierung zu erkennen. Wenn es möglich ist, Athleten nahezu unabhängig von ihrem Leistungsniveau anhand ihrer Bewegung während einer Dauer von 200 msec zu erkennen (siehe oben), dann wird die Frage akut, warum Athleten ein angeblich allgemeingültiges Vor- oder Leitbild imitieren sollen. Denn dieses wird weder der Individualität eines anderen Athleten gerecht noch lässt es sich wirklich kopieren. Individuelle Idealtechniken z. B. mit Hilfe der Biomechanik zu entwickeln ist nur auf den ersten Blick eine Lösung: Zum einen wären die dafür notwendigen Messungen nicht exakt genug möglich, und zum anderen würde die gemessene Bewegung schon bei ihrer nächsten Ausführung wieder von den Messergebnissen abweichen, weshalb selbst ständig neue Messungen keine Lösung bieten.

Nimmt man statt eines sehr eng definierten Ziels im Sinne einer Idealtechnik oder eines Technikleitbilds einen größeren Zielbereich an, innerhalb dessen jeder Athlet

sein sich zeitlich ständig änderndes (s. oben), individuelles Optimum (s. oben) selbst findet, dann scheint diese Lösung aufgrund der skizzierten Erkenntnisse sehr viel angemessener. Dieser größere Zielbereich wird auch als „möglicher Lösungsraum“ bezeichnet und umfasst prinzipiell alle Möglichkeiten zur Lösung einer Bewegungsaufgabe. Am Beispiel des Hürdenlaufs finden sich im Lösungsraum daher auch verschiedene Schwungbeinführungen (gebeugt, gekickt, gestreckt, geradlinige, diagonale, etc.), Armführungen (Gegenarmschwung, Doppelarmschwung, Arme zur Seite, etc.) oder verschiedene interne Rhythmen in der Bewegung (Schwungbein schnell hoch, langsam runter; Schwungbein langsam hoch, Nachziehbein schnell vor; etc.; Kretzschmar, 2008). Begrenzt wird der Lösungsraum nur durch zwei Dinge: Zum einen die erkennbare Verletzungsgefahr für den Athleten und zum anderen das Regelwerk. Die Kriterien für „Stoß“ (Ellbogen hinter der Schulter) und „Wurf“ behalten also auch im Lösungsraum ihre Gültigkeit.

Der Lernprozess besteht aufgrund der ständig auftretenden Schwankungen im Bewegungsverlauf und der dadurch notwendigen Fähigkeit zur situativen Anpassung im „Abtasten“ der Randbereiche des Lösungsraums. Letztlich ist dies der Mechanismus, den Kleinkinder nutzen, um sich ihr Bewegungsrepertoire zu erarbeiten: ständige Schwankungen durch das Ausprobieren aller möglichen Lösungen für das Problem oder die Aufgabe „Krabbeln“, „Gehen“, „Greifen“ etc. Zwar weisen auch Athleten immer noch Schwankungen auf (vgl. „Nichtwiederholbarkeit“), jedoch längst nicht mehr so große und vielfältige, da man bereits meint, man wisse, welche Bewegung die beste Lösung ist. Das Ziel im Lernprozess ist daher das gezielte Verstärken der bereits auftretenden Schwankungen (Fluktuationen), um dadurch einen selbstorganisierten Lernprozess zu initiieren und gleichzeitig die Fähigkeit unseres Gehirns zur Interpolation auszunutzen. Durch das Ausprobieren vielfältiger Lösungsmöglichkeiten besteht die Chance das individuelle Optimum eines Athleten sehr viel schneller zu finden. Durch die Interpolationsfähigkeit wird die Fähigkeit verbessert, in den sowieso ständig neu auftretenden Situationen schneller adäquate Lösungen zu finden. Wird diese Art des Lernens von Beginn an realisiert, dann steigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Athlet/ die Athletin in kürzerer Zeit individuelle Stärken und Schwächen implizit kennen lernt und entsprechend reagiert.

2 Praktische Realisation des Differenziellen Lehrens und Lernens

Das Ziel, sich an ständig neue Situationen anpassen zu können wird beim Differenziellen Lehren und Lernen (Schöllhorn, 1999) dadurch erreicht, dass die Schwankungen bzw. das Rauschen in den Bewegungsausführungen während des Lernprozesses vergrößert werden. In der Praxis werden daher vielfältige Variationen einer Bewegungsausführung aus dem Randbereich des möglichen Lösungsraums ausgeführt, d.h. es wird ein Rauschen in der Bewegung angeregt, das weit über das Maß des Rauschens hinausgeht, das man bei dem Versuch eine Bewegung zu wiederholen messen kann. Hier geht das Differenzielle Lernen auch weit über das „variable Üben“ (Schmidt & Lee, 1988) hinaus, bei dem zwar die Geschwindigkeit,

der Krafteinsatz, die Richtung oder die Randbedingungen der Bewegung verändert werden, die Bewegung jedoch möglichst konstant gehalten wird. Beim Differenziellen Lernen hingegen wird auch die Bewegung selbst verändert; so weit, dass sogar das Ausführen der möglichen Fehler zum Lernprozess gehört. Aus dieser Vielzahl an Variationen ergeben sich Differenzen zwischen den einzelnen Bewegungen, aus denen aufgrund der Interpolationsfähigkeit auch auf den Bereich zwischen den Bewegungsausführungen geschätzt werden kann.

Die im Differenziellen Lernen eingesetzten Variationen werden aus Untersuchungen unterschiedlicher Phasen und Ebenen eines Lernprozesses abgeleitet (vgl. Schöllhorn, 1998) und lassen sich folgendermaßen systematisieren: Jedes Gelenk kann hinsichtlich seines Winkels, seiner Winkelgeschwindigkeit, seiner Beschleunigungen und seines Rhythmus variiert werden (Schöllhorn, 1999). Am Beispiel des Kniewinkels beim Sprintlauf kann dies heißen, dass der Sprint in der Stützphase einmal mit ständig gebeugten Knien durchgeführt wird, dann während des Sprints die Knie früher gebeugt werden, dann während des Sprints die Knie später oder länger gestreckt werden, dann mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten gebeugt oder gestreckt wird und zur Realisierung der Rhythmusdifferenzen, das Knie am Anfang langsam gebeugt und dann schnell gestreckt oder schnell gebeugt und langsam gestreckt wird etc. Der Lösungsraum des leichtathletischen Sprints wird dabei nicht verlassen, denn jede dieser Bewegungsausführungen ist immer noch ein Sprintschritt. Jedoch wird dem Athleten auf diese Weise die Möglichkeit gegeben, seinen individuellen Sprintstil, d. h. den für ihn optimalen Zeitpunkt, Umfang und Geschwindigkeit der Kniestreckung/-beugung zu finden, anstatt einem Vorbild nachzueifern, dessen Bewegung nicht zu seinen individuellen Voraussetzungen passt. Führen wir diese Variationen in jedem Gelenk durch und kombinieren diese Variationen mit- und untereinander, so bekommen wir in etwa eine Vorstellung über die Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten, die möglich sind, ohne dass eine Übung wiederholt wird. Daher sieht das Differenzielle Lernen in seiner Extremform bzw. in einem engen Verständnis auch keine Wiederholungen einer Bewegungsausführung vor, um von Anfang an möglichst viele neue Situationen und Bewegungen zu provozieren, an die sich der Athlet anpassen muss. Werden neben den geschilderten Möglichkeiten an einem Gelenk und den Kombinationen mit anderen Gelenken auch klassische, im Trainingsalltag übliche und bekannte Variationen z.B. in zeitlicher und dynamischer Hinsicht (wie im variablen Üben nach Schmidt & Lee, 1988, postuliert) integriert, dann wird der übliche Begriff des „variablen Techniktrainings“ in der Leichtathletik auf eine nahezu unendliche Variationszahl erweitert.

Es gilt also, den Sprintschritt eher von Anfang an mit allen möglichen Eventualitäten zu trainieren und weniger ein nie mehr auftretendes, fiktives und nicht reproduzierbares Ideal durch zahlreiche Wiederholungen zu kopieren. Ein etwas weniger biomechanischer Ansatz wäre, in der Praxis Imitationen von mehreren anderen Personen oder die eigentliche Bewegung mit unterschiedlichen Charakteristika auszuführen. Vergleichbares findet sich in den chinesischen Kampfsportarten, die ihren Schülern seit langem die Aufgabe stellen, in verschiedenen Tierformen:

(„Kämpfe wie eine Schlange“, „Kämpfe wie ein Tiger“) oder Zuständen („Kämpfe wie ein Betrunkener“) zu kämpfen. D. h. auch die Sprache der Anweisungen unterliegt im weitesten Sinne der Idee des differenziellen Lernens. Als Trainer oder Lehrer wäre es aus dieser Sicht ratsam, denselben Anweisungsinhalt durch unterschiedliche Worte zu formulieren (Schöllhorn, 2003).

Mit diesem Ansatz des differenziellen Lernens wird nicht der Anspruch eines besten methodischen Wegs erhoben, sondern nur eine Alternative zum bisher Bestehenden angeboten. Wird eine Theorie bzw. ein Erklärungsmodell wie hier entwickelt, so ist es ein Anliegen dabei, Phänomene bisheriger Theorien ebenfalls in dieses Modell zu integrieren. Da mit Hilfe der traditionellen Methodik der graduellen Annäherung mittels zahlreicher Wiederholungen sehr große Erfolge erzielt wurden, gilt es auch, diese Phänomene in den neuen Ansatz einzubinden. Wenn wir demnach auf dem Weg der Annäherung an ein individuelles Maximum entsprechend viele Wiederholungen einer Bewegung durchführen, dann kommen wir aufgrund der geringen Wahrscheinlichkeit zweier identischer Bewegungen mit der Zeit ebenfalls auf einen entsprechend großen Rauschumfang unserer Bewegung innerhalb des Lösungsraums. Während bislang die häufigste Begründung für diesen Erfolg jedoch in der Anzahl an Übungswiederholungen gesehen wurde, ist die Frage nach der dabei auftretenden Varianz oder Anzahl und Größe der Anpassungsschritte weitestgehend vernachlässigt worden.

In Abbildung 1 ist exemplarisch der Unterschied zwischen dem traditionellen Verständnis von Variabilität in einer methodischen Übungsreihe und dem unter differenziellem Lernen verstandenen kritischen Verständnis von Variabilität dargestellt. Wählen wir z. B. vier Übungen A, B, C und D, wobei Übung D die zu erlernende Zielübung darstellt und die Übungen A-C im Sinne einer methodischen Reihe eine zunehmende Ähnlichkeit zur Übung D aufweisen, dann können diese vier Übungen in verschiedenen Reihenfolgen ausgeführt werden. Im klassischen geblockten Ansatz wird dann jede Übung jeweils z. B. zehnmal hintereinander ausgeführt, bevor zur Nächsten fortgeschritten wird (obere Abbildung). Verändert man jedoch die Reihenfolge auf die in der unteren Abbildung dargestellten Varianten, dann ist zwar die Gesamtvarianz aller Übungen die gleiche, die Anzahl und Größe der Anpassungen sind jedoch verschieden. Während im geblockten Ansatz jeweils nur zu Beginn einer Übung große Anpassungen notwendig sind, weil die Übung dann noch etwas Neues darstellt und dann mit jeder Wiederholung immer weniger Neues enthält, sind im Falle des kritischen Verständnisses ständig größere Anpassungen notwendig.

Betrachtet man Lernansätze und -methoden unter dem Aspekt der Größe des Rauschens oder der Anzahl und Größe der notwendigen Anpassungen, dann wird deutlich, dass das Einschleifen und auch das bisher in die Trainingspraxis einbezogene „variable Üben“ von Bewegungen aufgrund des geringeren Umfangs an „Neuem“ während des Lernprozesses echte, jedoch nur kleine Teilmengen des differenziellen Lernens sind.

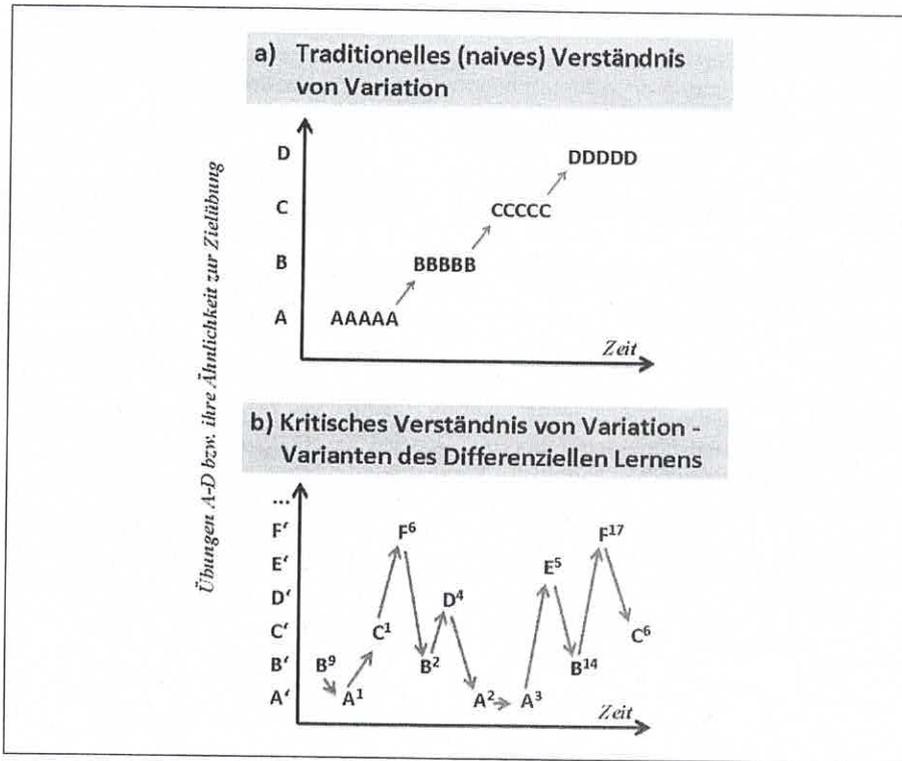


Abb. 1. Traditionelles und kritisches Verständnis von Variation (mod. nach Schöllhorn, 2003, S. 57).

Die Imitation von Idealtechniken so genannter „Meister des Sports“ erscheinen unter diesem Aspekt ebenfalls in einem anderen Licht: Da Vorbilder sich im Laufe eines langjährigen Trainingsaufbaus ändern (Borsov, Griffith-Joyner, Johnson, Bolt) ist die Vorbildänderung eine mindestens ebenso bedeutsame Funktion wie das zu kopierende Vorbild, weil dadurch die Anpassung an ein neues Vorbild gefordert wird. Allerdings ist es aus dieser Sicht für die gesamte Entwicklung des sportlichen Nachwuchses ungünstig, wenn zu lange versucht wird, das gleiche Vorbild zu kopieren. Die motorische Entwicklung scheint hier eher vom Wechsel der Vorbilder zu leben, als vom Vorbild selbst.

2.1 Experimente zum differenziellen Lernen in der Leichtathletik

Nach anfänglichen erfolgreichen Pilotstudien mit Sportstudenten an unterschiedlichen Universitäten, Vereinsathleten und international erfolgreichen Nationalmannschaftsmitgliedern wurden im Rahmen einer ersten Studie Effekte des klassischen und differenziellen Trainings im Sprint verglichen (Schöllhorn, Röber et al., 2001). Dabei handelte es sich um zwei Vereinstrainingsgruppen im durchschnittlichen Alter

von 16 Jahren. Während die klassische Trainingsgruppe fünfmal pro Woche nach Trainingsplänen des DLV mit vielen Übungswiederholungen trainierte, trainierte die differenzielle Trainingsgruppe lediglich zweimal pro Woche mit Sprintkoordinationsübungen nach Schöllhorn (1995; 2003). Beide Gruppen hatten ein vergleichbares Ausgangsniveau. Mit Hilfe eines Eingangs- und Ausgangstests vor und nach einem 6-monatigen Training wurden die Effekte der unterschiedlichen Trainingsansätze anhand der maximalen Laufgeschwindigkeit und der Bewegungsmuster verglichen.

In Bezug auf die maximale Laufgeschwindigkeit verbesserte sich die klassische Trainingsgruppe von 8,1 auf 8,3m/sec, die differenzielle Trainingsgruppe von 8,0 auf 8,5m/sec. Die Unterschiede verfehlen mit $p=0.07$ nur knapp das übliche statistische Signifikanzniveau. Die Bewegungsmuster aller Athleten sind zu Beginn der Untersuchung noch vermischt, nach sechs Monaten jedoch nahezu vollständig in die beiden Gruppen zu trennen. Während also die vergleichbaren Steigerungen der maximalen Laufgeschwindigkeit bei geringerem Aufwand für eine höhere Effektivität des differenziellen Lernens sprechen, weist die Trennung der Bewegungsmuster nach Trainingsgruppen am Ende der Trainingsperiode zum einen auf die zunehmende Individualisierung der Lauftechnik durch das Training hin, zum anderen auf die Abhängigkeit der Lauftechnik vom Koordinationstraining bzw. der Zielvorstellung der jeweiligen Trainingsgruppe oder des Trainers.

Deutlicher sichtbar wurden die Vorteile des Differenziellen Lernens bei einer Untersuchung zum Kugelstoßen (Standstoß) bei Sportstudierenden (Beckmann & Schöllhorn, 2003; Beckmann & Schöllhorn, 2006): In diesem Experiment absolvierten zwei Gruppen nach einem Eingangstest vier Wochen lang zweimal pro Woche jeweils 45-60 Minuten lang ein Kugelstoßtechniktraining. In beiden Versuchsgruppen (eine Gruppe traditionell, die andere differenziell) wurden insgesamt ca. 300 Stöße ausgeführt. Das Training in der traditionellen Gruppe wurde nach Vorgaben des Rahmentrainingsplans des DLV (Joch, 1993) mit häufigen Wiederholungen und laufenden Fehlerkorrekturen gestaltet, wohingegen die differenzielle Gruppe keine Fehlerkorrektur erhielt und keine Bewegungswiederholung erfuhr. Nach der vierwöchigen Trainingsphase absolvierten die Sportstudierenden einen Ausgangstest. Anschließend durften die Teilnehmer vier Wochen lang kein Kugelstoßen trainieren. In dieser Zeit wurde nach zwei und nach vier Wochen der Test wiederholt, um zu prüfen, wie lange der Lerneffekt des Trainings anhält. Die Ergebnisse zeigen in der Trainingsphase der ersten vier Wochen einen signifikant größeren Leistungsanstieg der differenziellen Gruppe von 6.50m auf 7.07m im Vergleich zur traditionellen Gruppe von 6.51m auf 6.70m. Interessanterweise steigert die differenzielle Gruppe Ihre Leistungen auch noch in der trainingsfreien Phase nach dem Ausgangstest und erzielt im letzten Test (nach vier Wochen Trainingspause) einen Wert von 7,23m. Die traditionell trainierende Gruppe hingegen zeigt in dieser trainingsfreien Phase typische Gedächtniseffekte, die schon nach zwei Wochen wieder auf das Ausgangsniveau von 6.51m führen. Ungewöhnlich sind auch die Ergebnisse in Bezug auf die Variation der jeweils drei getesteten Standstöße. Während die Variation in der differenziellen Gruppe vom Eingangstest bis zum letzten Retentionstest kon-

tinuierlich abnimmt, nimmt sie in der traditionellen Gruppe nach der Aneignungsphase erst einmal zu, um dann in den Retentionstests wieder auf dem Ausgangsniveau zu enden. Die Athleten scheinen demnach bei „chaotischem“ differenziellen Training an Konstanz zu gewinnen, wohingegen auf Konstanz ausgerichtete Training mit weniger Variationen (nur von Übung zu Übung) und höheren Wiederholungszahlen bei einer Übung kurzfristig zu Verlust und mittelfristig zu wenig Änderung der Bewegungsstabilität führt. Sie bleibt höher.

Weitestgehende Bestätigung fanden diese Ergebnisse durch weitere Studien im Hochsprung (Beckmann, Welminski & Schöllhorn, 2008), im Hürdensprint (Jaitner, Kretschmar & Hellstern, 2003) und im Sprint (Beckmann & Gotzes, in Druck). Sowohl die vergrößerte Leistungszunahme in der Aneignungsphase als auch der weitere Leistungsanstieg in der Lern- oder Retentionsphase durch differenzielles Training konnten mittlerweile in zahlreichen anderen Sportarten wie Fußball (Schöllhorn, Sechelmann, Trockel & Westers, 2004), Basketball (Schönherr & Schöllhorn, 2003) Handball (Wagner, Müller & Brunner, 2004) oder Tennis (Humpert & Schöllhorn, 2006; Schöllhorn, Humpert, Oelenberg, Michelbrink & Beckmann, 2008) bestätigt werden. Die Ergebnisse waren dabei nahezu unabhängig vom Alter oder Leistungsniveau, weisen jedoch darauf hin, dass mit zunehmendem Alter und/oder zunehmendem Leistungsniveau größere Effekte erzielt werden. Ebenso scheint eine Übertragung des Differenziellen Lernens in den Bereich eher konditionell geprägter Fertigkeiten zu besseren Aneignungsleistungen zu führen. Darauf weisen die Ergebnisse der Studien zur Sprungkraft im Handball von (Pfeiffer & Jaitner, 2003) und im Volleyball (Spratte, Janssen & Schöllhorn, 2007) deutlich hin.

3 Fazit und Konsequenzen für die Zukunft

Betrachten wir die Steigerung der Differenzen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bewegungsausführungen beim Differenziellen Lernen als eine Verstärkung der Fluktuationen bzw. Steigerung des Rauschens, das auch bei einfachen Bewegungswiederholungen im Rahmen jedes anderen Lernansatzes als natürliche biologische Funktion auftaucht, dann liegt es nahe, auch andere Ansätze im Hinblick auf Rauschen hin zu untersuchen. Eine theoretische Betrachtung sämtlicher motorischer Lernansätze und erste experimentelle Bestätigungen (Gebkenjans, Beckmann & Schöllhorn, 2007; Janssen, Beckmann, Gebkenjans & Schöllhorn, 2008; Beckmann, Winkel, & Schöllhorn, 2008) führen zu einer konsistenten und umfassenden Einordnung der Lernansätze in eine rauschabhängige Lerntheorie. Zweifellos wurden und werden Bestleistungen mit sämtlichen Lern- und Trainingsansätzen erzielt. Unterschiede ergeben sich lediglich in Bezug auf die Dauer, bis das Ziel erreicht wird, die so genannte Lernrate (Lernfortschritt pro Zeit). Ausschließliches Wiederholen enthält dabei sicher ein Mindestmaß an Rauschen, dafür jedoch auch auf die Dauer nur eine relativ geringe Lernrate (vgl. Abb. 2). Sowohl das Rauschen als auch die Lernraten nehmen bei methodischen Übungsreihen (Gaulhofer & Streicher, 1924), dem Lernen nach der Schematheorie (Schmidt, 1975) und dem

Lernen nach dem Kontextinterferenzansatz (Shea & Morgan, 1979) zu. Das derzeit höchste Maß an Rauschen während des Lernprozesses mit der dabei höchsten Lernrate wird jedoch vom differenziellen Lernen im engeren Sinne angeboten (ebd.) Demnach können sämtliche motorischen Lernsätze als eine Suche nach dem optimalen Rauschbereich verstanden werden, bei denen stets Lernen anhand von unterschiedlich großen Differenzen stattfindet, also Lernen immer ein differenzielles Lernen im weiteren Sinne darstellt.

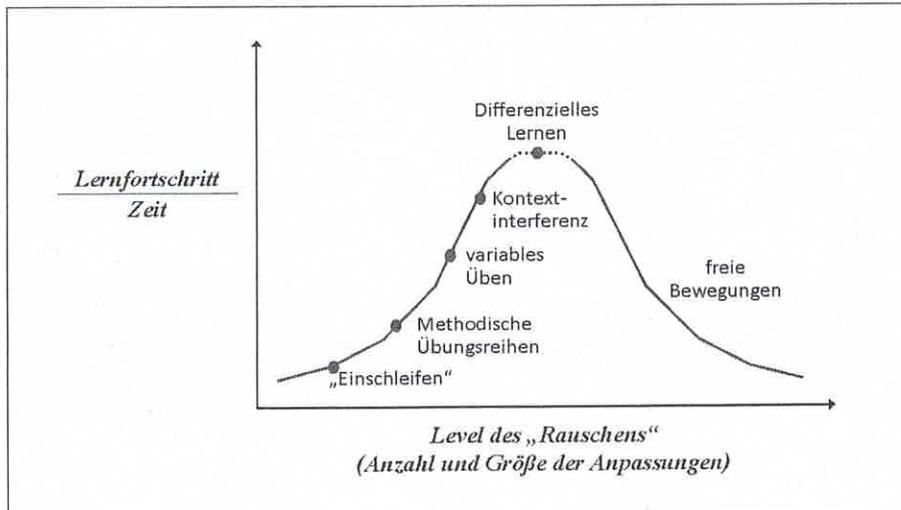


Abb. 2. Hypothetische Darstellung der Integration aller Lerntheorien mit Hilfe des Parameters „Rauschen“ (Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell, & Michelbrink, 2008)

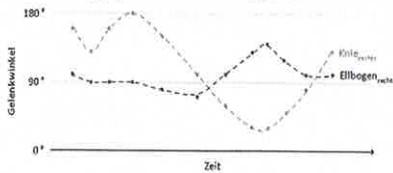
Dass das Optimum des Rauschniveaus hierbei nicht als Fixpunkt, sondern variabel angenommen wird (dargestellt durch die gestrichelte Linie), trägt den experimentellen Befunden Rechnung, in denen neben dem Grad der Ermüdung (Jäger et al., 2003) Bewegungen auch durch Emotionen (Janssen, Schöllhorn, et al., 2008) messbare Veränderung erfahren. Die Optima scheinen demnach also weder personenübergreifend noch zeitlich überdauernd, sondern in hohem Maße individuell und situativ zu sein.

Insgesamt deuten zahlreiche weitere sowie zurzeit laufende Untersuchungen auf die hohe Effektivität des differenziellen Lern- und Lehransatzes hin. Neben den aufgeführten Effekten für das individuelle Bewegungslernen (Schöllhorn, 2000) sind dabei auch positive Wirkungen im Bereich des Gruppentrainings zu beobachten und abzuleiten. Bieten wir im klassischen Sinne in jeder Trainings- oder Unterrichtseinheit einer Gruppe oder einer Klasse fünf Übungen mit entsprechenden Wiederholungszahlen an oder beschränken uns auf fünf (Korrektur-)Anweisungen, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass alle Athleten oder Schüler diese Übungen oder Anweisungen adäquat verarbeitet haben, wesentlich geringer als wenn in derselben

Einheit 60 verschiedene Bewegungsausführungen erfolgen. Ein angenehmer Nebeneffekt ist dabei die wesentlich höhere Motivation für die Lehrenden und Lernenden durch das ständig Neue. Außerdem entfällt die Ausrede, Lernen könne nur in kleinen Gruppen effektiv stattfinden, da die immer wieder geforderte individuelle Fehlerkorrektur durch den Lehrer oder Trainer weitaus weniger effektiv zu sein scheint als bislang angenommen. Mit dem differenziellen Lernen wird demnach ein Ansatz verfolgt, der einerseits zahlreiche Phänomene erklärt, die bei klassischen Lernansätzen auf Schwierigkeiten stoßen, andererseits in Bezug auf die Erforschung seiner Grenzen und Tragweite auch noch 15 Jahre nach seiner Entwicklung großes Forschungspotenzial bietet. Die bisherigen Erfolge des Ansatzes lassen jedoch vermuten, dass sich eine detailliertere Untersuchung des Lernens und Lehrens mit Differenzen im Hinblick auf effektiveres individuelles Lernen lohnt.

4 Exkurs

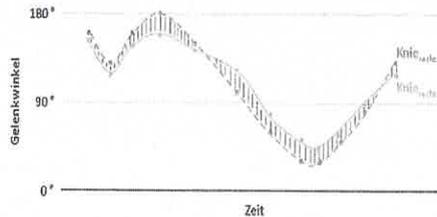
„Bewegungsmuster“, „Schwankungen“ und „Rauschen“? Einige biomechanische Grundlagen.



Man kann eine Bewegung biomechanisch sehr präzise beschreiben in dem die Gelenkwinkelverläufe bei der Bewegung aufgezeichnet werden. Dafür filmt man die Bewegung (hier: ein Sprintschritt) mit mehreren Kameras. Anschließend werden die Gelenkwinkel auf jedem Einzelbild bestimmt. Aus allen Bildern ergeben sich dann die Gelenkwinkelverläufe, hier exemplarisch dargestellt für das rechte Knie (rot) und den rechten Ellbogen (blau; s. Abb. oben). In der Praxis werden für ein solches „Bewegungsmuster“ die Kurven aller Gelenke herangezogen. Mit Hilfe der Gelenkwinkelverläufe können z.B. Bewegungen einer Person (z.B. vor nach einer Trainingsphase) oder die Bewegungen verschiedener Personen (z. B. Anfänger vs. Fortgeschrittene) miteinander verglichen werden.

Mittels solcher und anderer Verfahren konnte man unter anderem feststellen, dass selbst Spitzenathleten nicht in der Lage sind, eine ihrer Bewegungen identisch zu wiederholen, obwohl das Ergebnis der Bewegung identisch bleibt (z.B. eine identische Sprungweite oder Sprintzeit).

So würden z.B. die Gelenkwinkelverläufe des rechten Knies einer Person schon bei zwei aufeinander folgenden Versuchen voneinander abweichen (s. Abb. unten).



Würde man mehrere dieser Gelenkwinkelverläufe übereinander legen, würde man erkennen, dass die Grundstruktur des Verlaufs zwar ähnlich ist, jedoch alle einzelnen Verläufe voneinander abweichen – also „schwanken“. In der Physik werden Signale die derartige Schwankungen aufweisen auch als gestörte oder „verrauschte“ Signale bezeichnet, d.h. die Abweichung vom eigentlichen Signal wird als „Rauschen“ interpretiert. Zu beachten ist, dass der Begriff des Rauschens Schwankungen in zufälliger Größe, Richtung und Häufigkeit umfasst, im Unterschied zum Begriff der Variation, der immer etwas geplantes oder strukturiertes beinhaltet. Dieses Rauschen wird beim Differenziellen Lernen durch die ständig veränderten Bewegungsausführungen erzeugt. Dadurch entsteht nicht nur ein Rauschen zwischen den Bewegungen durch die mehr oder weniger großen Änderungen von einer Bewegung zur nächsten sondern auch innerhalb der Bewegung durch die Schwankungen der Gelenkwinkelverläufe.

Literatur

- Bauer, H.-U. & Schöllhorn, W.I. (1997). Self-organizing maps for the analysis of complex movement patterns. *Neural Processing Letters*, 5, 193-199.
- Bauer, J., Schöllhorn, W.I., Koller, T. & Mendoza, L. (1997). Partitionierung großmotorischer Bewegungs- und Zustandsmuster. In P.Hirtz & F. Nüske (Hrsg.), *Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 87, S. 306-310). Hamburg: Czwalina.
- Beckmann, H. & Gotzes, D. (in Druck). Differenzielles Lehren und Lernen in der Leichtathletik – ein Sprintexperiment im Sportunterricht. *sportunterricht*.
- 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., Welminski, D. & Schöllhorn, W.I. (2008). Differenzielles Lernen in der Leichtathletik – Techniktraining in der Leichtathletik. In D. Lühnenschloß & P. Wastl (Hrsg.), *Quo vadis olympische Leichtathletik?* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 181, S.195-208). Hamburg: Czwalina.
- Beckmann, H., Winkel, C. & Schöllhorn, W.I. (2008). Optimal range of variation in hockey technique training [Abstract]. In D. Araujo et al. (Eds.), *2nd International Congress of Complex Systems in Sport & 10th European Workshop of Ecological Psychology. Book of abstracts* (S. 62-64). Madeira, Portugal.
- Bernstein, N.A. (1967). *The coordination and regulation of movements*. London: Pergamon Press.
- Friedrich, W. & Möller, H. (1999). Zum Problem der Superkompensation. *Leistungssport*, 29 (5), 52-55.
- Gaulhofer, K. & Streicher, M. (1924). *Grundzuege des oesterreichischen Schulturnens*. Wien: Deutscher Verlag für Jugend und Volk.
- 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 abstracts* (S. 153-154). Köln: Sportverlag Strauß.
- Goldfield, E.C. (1993). Dynamic systems in development: Action systems. In L.B. Smith & E. Thelen (Eds.), *A dynamic systems approach to development* (S. 51-70). Cambridge, USA: MIT.
- Haken, H., Kelso, J.A.S. & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51, 347-356.
- Harre, D. (1979). *Trainingslehre*. Berlin: Sportverlag.
- Hatze, H. (1986). Motion variability – its definition, quantification, and origin. *Journal of Motor Behavior*, 18, 5-16.
- Humpert, V. & Schöllhorn, W.I. (2006). Vergleich von Techniktrainingsansätzen zum Tennisaufschlag. In A. Ferrauti & H. Remmert (Hrsg.), *Trainingswissenschaft im Freizeitsport* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 157, S. 121-124). Hamburg: Czwalina.
- Jäger, J., Alichmann, M. & Schöllhorn, W.I. (2003). Erkennung von Ermüdungszuständen anhand von Bodenreaktionskräften mittels neuronaler Netze. In G.-P. Brüggemann & G. Morey-Klapsing (Hrsg.), *Biologische Systeme. Mechanische Eigenschaften und ihre Adaptation bei körperlicher Belastung* (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 135, S. 179-183). Hamburg: Czwalina.
- Jaitner, T., Kretschmar, D. & Hellstern, W. (2003). Changes of movement pattern and hurdle performance following traditional and differential hurdle training. In E. Müller, H. Schwameder, G. Zallinger & V. Fastenbauer (Eds.), *Proceedings of the 8th annual congress European College of Sport Science* (S. 224). Salzburg, Austria.
- Jaitner, T., Mendoza, L. & Schöllhorn, W.I. (2001). Analysis of the long jump technique in the transition from approach to takeoff based on time-continuous kinematic data [Abstract]. In J. Mester, G. King, H. Strüder, E. Tsolakidis & A. Osterburg (Eds.), *4th ECSS Congress. Proceedings* (S. 247). Köln: Sport & Buch Strauß.

- Janssen, D., Beckmann, H., Gebkenjans, F. & Schöllhorn, W.I. (2008). Analysing learning approaches by means of complex movement pattern analysis [Abstract]. In D. Araujo et al. (Eds.), *2nd International Congress of Complex Systems in Sport & 10th European Workshop of Ecological Psychology. Book of abstracts* (S. 64-66). Madeira, Portugal.
- Janssen, D., Schöllhorn, W.I., Lubienetzki, J., Fölling, K., Kokenge, H. & Davids, K. (2008). Recognition of emotions in gait patterns by means of artificial neural nets. *Journal of Nonverbal Behavior*, 32 (2), 79-92.
- Joch, W. (Hrsg.) (1993). *Rahmentrainingsplan für das Aufbautraining Wurf* (2. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Killing, W. (2004). *Trainings- und Bewegungslehre des Hochsprungs*. Köln: Sport & Buch Strauß.
- Kretzschmar, D. (2008). Schneller zur optimalen Technik. *Leichtathletiktraining*, 19 (6), 34-39.
- Leitzelter, M. (1978). *Trainingsgrundlagen*. Reinbek: Rowohlt.
- Matweijew, L.P. (1956). *Allseitige körperliche Ausbildung als Voraussetzung der sportlichen Spezialisierung* [Dissertation]. Moskau.
- Mendoza, L. & Schöllhorn, W.I. (1993). Training of the sprint start technique with biomechanical feedback. *Journal of Sports Sciences*, 11 (1), 25-29.
- Mester, J. & Perl, J. (2000). Grenzen der Anpassungs- und Leistungsfähigkeit des Menschen aus systemischer Sicht. *Leistungssport*, 20 (2), 43-55.
- Pfeiffer, M. & Jaitner, T. (2003): Sprungkraft im Nachwuchstraining Handball – Training und Diagnose. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 10 (1), 86-95.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82 (4), 225-260.
- Schmidt, R.A. & Lee, T.D. (1988). *Motor Control and Learning*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schöllhorn, W.I. (1995). *Schnelligkeitstraining*. Reinbek: Rowohlt.
- Schöllhorn, W.I. (1998). *Systemdynamische Betrachtung komplexer Bewegungsmuster im Lernprozess*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Schöllhorn, W.I. (1999). Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport*, 29 (2), 7-11.
- Schöllhorn, W.I. (2000). Applications of systems dynamic principles to technique and strength training. *Acta Academiae Olympicae Estoniae*, 8, 67-85.
- Schöllhorn, W.I. (2003). *Eine Sprint- und Laufschnelle für alle Sportarten*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Schöllhorn, W.I. & Bauer, H.-U. (1998). Identifying individual movement styles in high performance sports by means of self-organizing Kohonen maps. In H.J. Riehle & M. Vieten (Eds.), *Proceedings of the XVI ISBS 1998* (S. 574-577). Konstanz: University Press.
- Schöllhorn, W.I., Beckmann, H. & Michelbrink, M. (2005). System(at)ische Betrachtung von Trainingsprinzipien. In R. Burger, D. Augustin, N. Müller, & W. Steinmann (Hrsg.), *Trainingswissenschaft – Facetten in Lehre und Forschung* (S. 39-53). Niederrhausen: Schors.
- Schöllhorn, W.I., Humpert, V., Oelenberg, M., Michelbrink, M. & Beckmann, H. (2008). Differenzzielles und Mentales Training im Tennis. *Leistungssport*, 38 (6), 10-14.
- Schöllhorn, W.I., Mayer-Kress, G., Newell, K.M. & Michelbrink, M. (2008, December 4th). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations [Online-Publication]. *Human Movement Science*. DOI:10.1016/j.humov.2008.10.005.
- Schöllhorn, W.I., Nigg, B.M., Stefanyshyn, D. & Liu, W. (2002). Identification of individual walking patterns using time discrete and time continuous data sets. *Gait & Posture*, 15 (2), 180-186.
- Schöllhorn, W.I., Peham, C., Licka, T. & Scheidl, M. (2001). Analysing rider – horse interactions by means of a pattern recognition approach [Abstract]. In J. Mester, G. King, H. Strüder, E. Tsolakidis & A. Osterburg (Eds.), *4th ECSS Congress.. Book of abstracts* (S. 333). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Schöllhorn, W.I., Röber, F., Jaitner, T., Hellstern, W. & Käubler, W.D. (2001). Discrete and continuous effects of traditional and differential sprint training [Abstract]. In J. Mester, G. King, H. Strüder, E. Tsolakidis, & A. Osterburg (Eds.), *4th ECSS Congress. Book of abstracts* (S. 331). Köln: Sport & Buch Strauß.
- Schöllhorn, W.I., Sechelmann, M., Trockel, M. & Westers, R. (2004). Nie das Richtige trainieren, um richtig zu spielen. *Leistungssport*, 34 (5), 13-17.
- Schönherr, T. & Schöllhorn, W.I. (2003). Differential learning in basketball [Abstract]. In W.I. Schöllhorn, C. Bohn, J.M. Jäger, H. Schaper & M. Alichmann (Eds.), *1st European workshop on movement science. Book of abstracts* (S. 58-59). Köln: Sport & Buch Strauß.

- Shea, J.B. & Morgan, R.L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 179-187.
- Spratte, M., Janssen, D. & Schöllhorn, W.I. (2007). Recognition of jumping patterns in volleyball after traditional and differential strength training by means of artificial neural nets [Abstract]. In P. Beek & R. van den Langenberg (Eds.), *3rd European workshop on movement sciences. Book of abstract* (S. 167-168). Köln: Sportverlag Strauß.
- Wagner, H., Müller, E. & Brunner, F. (2004). Systemdynamische oder programmorientierte Lernmethoden. *Leistungssport*, 34 (6), 54-62.
- Zanon, S. (1997). Die alte Theorie des Trainings in der Kritik. *Leistungssport*, 27 (3), 18-19.