

Individualität – ein vernachlässigter Parameter ?

► Im Bereich der Trainingswissenschaft/-lehre ist ein zunehmendes Bedürfnis zur Veränderung des Traditionellen beobachtbar. Einer der bekanntesten russischen Trainingswissenschaftler (VERCHOSCHANSKI 1998) kritisiert den Inhalt eines der Standardwerke der russischen (MATVEJEV 1981) und damit auch deutschen (HARRE 1971) Trainingslehre aufs Schärfste, Athleten zeigen vermehrt Unzufriedenheit mit ihren Trainern (EMRICH/PITSCH 1998), die überwiegend im Sinne der traditionellen Trainingslehre ausgebildet sind; und immer mehr Trainer beschreiten Wege, die mit klassischen Trainingsprinzipien nicht immer konform gehen (EGGER 1998). Speziell im Bereich des Techniktrainings wird inzwischen öffentlich der Widerspruch kritisiert, daß die Programmierungskomponente einer Bewegung einerseits eingeschliffen werden soll,

gleichzeitig jedoch die Ausführungskomponente desselben Programms zu modifizieren sei (ZANON 1997). Eine zunehmende Anzahl an sozialpsychologischen Bestandsaufnahmen und statistischen Beschreibungen bestehender Trainingsgewohnheiten inklusive ihrer begleitenden Lebensumstände (u.a. EMRICH/PITSCH 1998, RICHARTZ/BRETTSCHEIDER 1996, ZASTROW 1996) liefern weitere Hinweise auf eine intensivierte Suche nach (qualitativen) Alternativen zu traditionellen Formen der Leistungssteigerung. Auch die bekannte Form der Leistungssteigerung durch Erhöhung der Trainingsumfänge in Form von häufigeren Trainingseinheiten ist nicht mehr so überzeugend wie früher. Eine jüngst durchgeführte umfangreiche Untersuchung nationaler Landeskadernathleten im Jugendalter konnte in der Mehrzahl der Sportarten keine signifikanten

Zusammenhänge zwischen Erfolg und Trainingsumfang identifizieren (EMRICH/ PITSCH 1998). Und selbst in den Sportarten, in denen sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang ($r = 0.3$; $p = 0.05$) nachweisen ließ, konnte der Trainingsumfang lediglich 9 Prozent der Unterschiede (Varianz) bezüglich des Erfolgs aufklären, d.h., 91 Prozent der Erfolgsunterschiede gehen auch in diesen Sportarten auf Einflußfaktoren zurück, die weniger den Trainingsumfang (Quantität) als vielmehr die Trainingsinhalte (Qualität) betreffen. Im folgenden wird ein neuerer theoretischer Ansatz vorgestellt und diskutiert, dessen praktische Konsequenzen zum Überdenken der klassischen Struktur von Trainingsinhalten anregen und neue Impulse für das Verhältnis von Qualität und Quantität im Training liefert.

1. Der Systemdynamische Ansatz

Der systemdynamische Ansatz erfreut sich seit Mitte der 80er Jahre (HAKEN/KELSO/ BUNZ 1985, THELEN/SMITH 1993) vorwiegend im angelsächsischen Sprachraum zunehmender Attraktivität, und seit Anfang der 90er Jahre finden seine theoretischen Grundlagen auch im Bereich der sportmotorischen For-

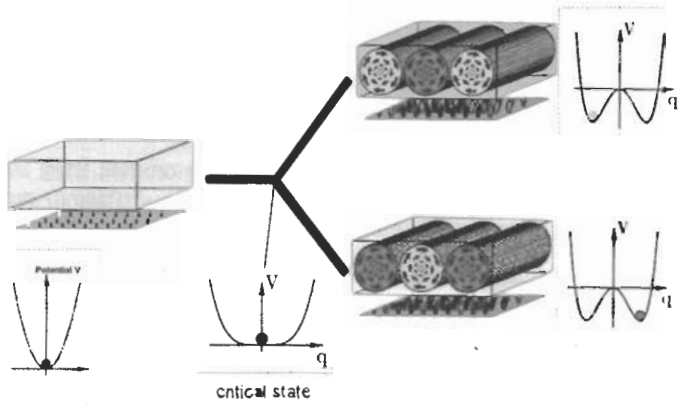
schung Interesse (JANSSEN 1996, LAMES 1992). Im Unterschied zum statischen Systemansatz sind im systemdynamischen Ansatz nicht nur die Analyse von Zuständen Gegenstand

der Forschung, sondern primär die Veränderung und die Übergänge von Zuständen im Laufe der Zeit. Grundlegender Einfluß auf die Entwicklung dieses Ansatzes ging von der Nichtlinearen Dynamik, der Synergetik, der Katastrophentheorie, der Komplexitätstheorie und der Neurophysiologie aus. Der Einfluß wirkte sich vor allem auf ein verändertes Beziehungsverständnis von Ursache und Wirkung sowie auf das Entstehungsverständnis von Struktur bzw. Ordnung aus.



Eingegangen: 11.1.1999
Foto: Bongarts

Abb. 1



Erhitzen einer Flüssigkeitsschicht mit Potentialbetrachtung

Im klassischen Newtonschen oder reduktionistischen Verständnis werden Ursache und Wirkung in einem linearen Zusammenhang gesehen. Konsequenterweise wurden Lern- und Trainingsprozesse primär auf lineare Zusammenhänge hin untersucht und interpretiert. In seiner schwachen Formulierung entspricht dieses lineare Kausalverständnis einer „gleiche Ursache – gleiche Wirkung“-Forderung. Übertragen wir dies auf den Lern- bzw. Trainingsprozeß, hätte dies zur Folge, daß jeder Athlet auf eine Übung oder Anweisung in gleicher Art und Weise reagiert. Diese Form des Kausalitätsverständnisses bildet auch die Grundlage für additiv aufgebaute Trainingsmodelle, wonach geglaubt wird, daß ein sukzessives Training der einzelnen Elemente einer Bewegung zur gewünschten Zielbewegung führt. In der wesentlich stärkeren Formulierung der linearen Kausalität wird sogar einer ähnlichen Ursache eine ähnliche Wirkung zugeordnet (LOISTL/BETZ 1994). Im Unterschied zu diesem vorwiegend an der Beobachtung mechanischer Körper abgeleiteten Kausalitätsverständnis zeigt die Trainingspraxis häufig ein anderes Bild. Im Trainingsprozeß erzielen oft größte

Anstrengungen nur minimalen oder keinen Erfolg, andererseits ist oft zu beobachten, daß eine „richtige“ Anweisung oder Trainingsübung zum „richtigen“ Zeitpunkt oft „wahre Wunder“ bewirken kann.

Im Sinne der Katastrophentheorie nach THOM (1972) verursachen oft singuläre Ereignisse auch Katastrophen, d.h., die gleiche Übung unter anderen Randbedingungen kann auch zu vollkommen anderen Ergebnissen führen (vgl. HAASE 1991).

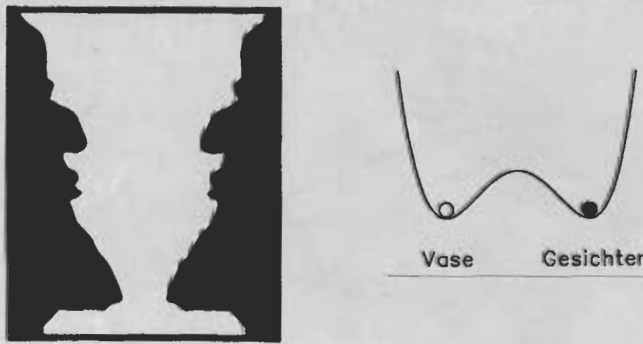
Solche Phänomene lassen sich mit einem nichtlinearen Kausalitätsverständnis, das kleinen Ursachen große Wirkungen (und umgekehrt) zuordnet, plausibler beschreiben. Sie verbergen sich hinter dem allgemein bekannten 'Schmetterlingsschlageneffekt', wonach ein Schmetterlingsschlag in Südamerika aufgrund nichtlinearer Wechselwirkungen der Wettereinflüsse in Europa ein Gewitter verursachen kann. Interessanterweise treten diese nichtlinearen Kausalitätsbeziehungen nicht nur beim Menschen, sondern auch in der Natur weit häufiger auf als die linearen. Dabei nimmt die Häufigkeit der nichtlinearen Phänomene meist mit der Komplexität eines Systems zu.

Eng verknüpft mit dem Kausalitätsproblem ist das Problem der Entstehung von Struktur bzw. Ordnung. Ähnlich den klassischen Wissenschaftsdisziplinen wird als ein wesentliches Ziel von Techniktraining die Strukturierung des Bewegungsrepertoires betrachtet, die dem Athleten meist durch Einschleifprozesse ein adäquates Agieren ermöglicht. Eine notwendige Bedingung hierfür schien lange Zeit die Anwesenheit eines externen Lehrers bzw. sein Wissen über die entsprechende Ordnung zu sein. Experimente in der Physik und Chemie um die Jahrhundertwende führten, nach einiger zeitlicher Verzögerung, mittlerweile diesbezüglich zu einem grundlegenden Umdenken. Ein Experiment von Benard wies bereits um die letzte Jahrhundertwende auf beeindruckende Weise die Entstehung von Ordnung in einer Flüssigkeit durch Erhitzen nach (Abb. 1): Wird eine dünne Flüssigkeitsschicht von unten erhitzt, kommt es beim Überschreiten einer kritischen Temperatur zur Ausbildung von Flüssigkeitsrollen, die versuchen, die Temperaturdifferenz zwischen dem warmen Boden und der kälteren Oberfläche auszugleichen. Wird das System wieder abgekühlt, so kann es passieren, daß bei erneutem Erhitzen sich zwar wieder Flüssigkeitsrollen ausbilden, diese sich jedoch in genau umgekehrtem Drehsinn bewegen, d.h., in beiden Fällen entsteht eine stabile Ordnung, ohne daß ein externer Beobachter oder ein Gehirn den einzelnen Flüssigkeitsmolekülen ihr Verhalten für die entstandene Ordnung vorgibt, also selbstorganisierend aus den Eigenschaften des Systems. Welcher der beiden möglichen stabilen Zustände eingenommen wird, entscheidet sich dabei zufällig. Analoges läßt sich mittels einer Potentialbetrachtung darstellen. Während zu Beginn des Experiments nur ein stabiler Zustand (eine Mulde) existiert, sind nach Überschreiten einer kritischen Temperatur zwei Zustände stabil (zwei Mulden). Ähnliches bistabiles Verhalten ist bei der visuellen Wahrnehmung von Kippfiguren (Vase-Gesichter, Abb. 2) bekannt, wobei der Wechsel zwischen den beiden stabilen Zuständen nicht der Willkür unterliegt (HAKEN/HAKEN-KRELL 1992).

2. Systemdynamik und Bewegung

Erste Experimente, die ähnliche Phänomene bei menschlichen Bewegungen beobachten ließen, wurden von HAKEN/KELSO/BUNZ (1985) mathematisch beschrieben und von SCHÖNER/KELSO (1988) auf den Bereich des Lernens zyklischer Bewegungsformen verallgemeinert. Bei rhythmischen Fingerbewegungen entdeckten sie Phänomene, die nicht der willkürlichen Kontrolle unterliegen und zahlreichen dynamischen Systemen eigen sind. Bewegt man langsam beide Zeigefinger gleichzeitig von links nach rechts und steigert die Frequenz kontinuierlich, so kommt es oberhalb einer bestimmten (kritischen) Frequenz zu einem Wechsel des Bewegungsmusters in eine gegengleiche Bewegung der Zeigefinger (Abb. 3). Dieser nicht willkürlich zu beeinflussende Wechsel tritt bei jeder Person zwar an unter-

Abb. 2



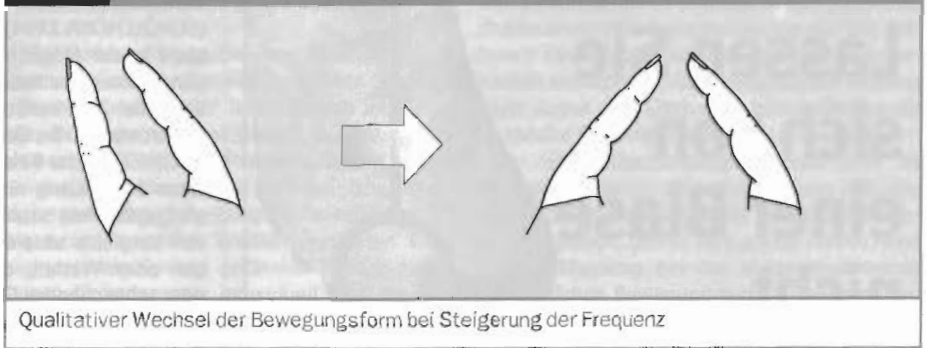
Bistabilität optischer Kippfiguren (Vase-Gesicht)

schiedlichen Frequenzen auf, ist für eine Person aber konstant. Nachdem das Bewegungsmuster gewechselt hat, ist man nicht mehr in der Lage, in das alte Muster zurück zu gelangen, es sei denn man reduziert die Bewegungsfrequenz. Beginnt man jedoch die Bewegung direkt mit dem zweiten Muster der gegengleichen Bewegung, so kommt es zu keinem qualitativen Wechsel. Das System zeigt also bis zur kritischen Frequenz zwei, nach dem Phasenübergang nur noch einen stabilen Zustand, d.h., die potentiellen Möglichkeiten des koordinativen Systems ändern sich mit der Steigerung der Bewegungsfrequenz.

Bei genauerer Betrachtung der relativen Fingerbewegungen (Abb. 4 unten) fallen in beiden Bewegungsmodi ständige Schwankungen und Intermittenzen auf, die im Modus der gegengleichen Bewegungen kleiner sind als im gleichgerichteten Fall, d.h., der gegengleiche Modus ist der stabilere. Von besonderem Interesse aus systemdynamischer Sicht ist jedoch das Verhalten der Schwankungen beim Wechsel von einem stabilen Zustand in einen anderen stabilen. Hier zeigt sich analog dem Verhalten anderer komplexer Nichtgleichgewichtssysteme eine deutliche Zunahme der Schwankungen, d.h., der Wechsel zwischen zwei stabilen Zuständen führt über eine Instabilität.

Betrachten wir das Verhalten in Form einer Potentiallandschaft (Abb. 5), so läßt sich das bei hohen Frequenzen ausschließliche gegengleiche Verhalten (0 Grad relative Phase) mit einer einzelnen 'Mulde' (Attraktor: = attraktiver Zustand) darstellen, wohingegen im langsameren Fall die beiden stabilen Zustände durch zwei tiefe Mulden (0 Grad und 180 Grad relative Phase) charakterisiert werden. Im Übergang von langsam nach schnell (in Abb. 5 von hinten nach vorne) werden somit die Mulden der gleichsinnigen Bewegungsformen instabil und 'führen' das Bewegungsverhalten bei höheren Frequenzen in die stabilste tiefe Mulde von 0 Grad relativer Phase.

Abb. 3



Qualitativer Wechsel der Bewegungsform bei Steigerung der Frequenz

Auf den ersten Blick überraschen diese Schwankungen, da es sich für das menschliche Bewegungsrepertoire doch um eine einfache Bewegungsform handelt und eigentlich Zeugnis für unsere Unfähigkeit sind, einen Rhythmus öfter exakt zu wiederholen, d.h., es werden eigentlich ständig „Fehler“ gemacht. Zieht man jedoch zusätzlich in Betracht, daß diese Schwankungen in allen biologischen Systemen auftreten, dann können diese „Fehler“ als eine Notwendigkeit für natürliche Adaptationsprozesse angesehen werden (ASHBY 1956). „Fehler“ sind demnach eine Voraussetzung für Systeme, die lernen. Maschinen schaffen es in der Regel, ohne Fehler Bewegungen auszuführen, sind dafür bislang aber nicht fähig zu lernen. Bezüglich des Bewegungslernens oder Techniktrainings können aus dem Experiment zwei wesentliche Konsequenzen abgeleitet werden. Eine Konsequenz bezieht sich auf die Ausführungsgeschwindigkeit beim Erlernen einer neuen Bewegung und die andere auf das Verhalten beim Übergang zwischen zwei stabilen Zuständen. Im ersten Fall läßt sich ableiten, daß bei der Aneignung einer neuen Bewegung in einem Geschwindigkeitsbereich zu arbeiten ist, der unterhalb einer kritischen Bewegungsgeschwindigkeit liegt, oberhalb derer nur ein potentiell mögliches (automatisiertes) Muster

produziert werden kann. Im Falle des Übergangs zwischen zwei stabilen Zuständen wird eine andere Zeitskala angesprochen, bei der die Aneignung einer neuen stabilen Bewegungstechnik nur durch 'Instabil-machen' der alten Bewegungstechnik erzielt werden kann, d.h. die möglichen Schwankungen zunächst drastisch erhöht werden. Dieselben Phänomene sind mittlerweile bei zahlreichen anderen Bewegungsformen vorhergesagt und bestätigt worden, so z.B. bei zyklischen Handgelenk- und Ellbogen-Streck- und Beugebewegungen oder verschiedenen Arm-Bein-Koordinations- und Lernaufgaben (KELSO 1995). Neben der kinematischen Betrachtungsebene sind dieselben Phänomene der Schwankungen (Fluktuationen und Intermittenzen) und Phasenübergänge auch auf den Ebenen der Muskulatur und des Zentralnervensystems beschrieben worden (KELSO 1995, HAKEN 1996).

3. Systemdynamik und das Training großmotorischer Bewegungen

Zur Verallgemeinerung des systemdynamischen Ansatzes auf azyklische Bewegungsformen wurde in eigenen Arbeiten von dem speziellen Beschreibungsparameter der relativen

Abb. 4

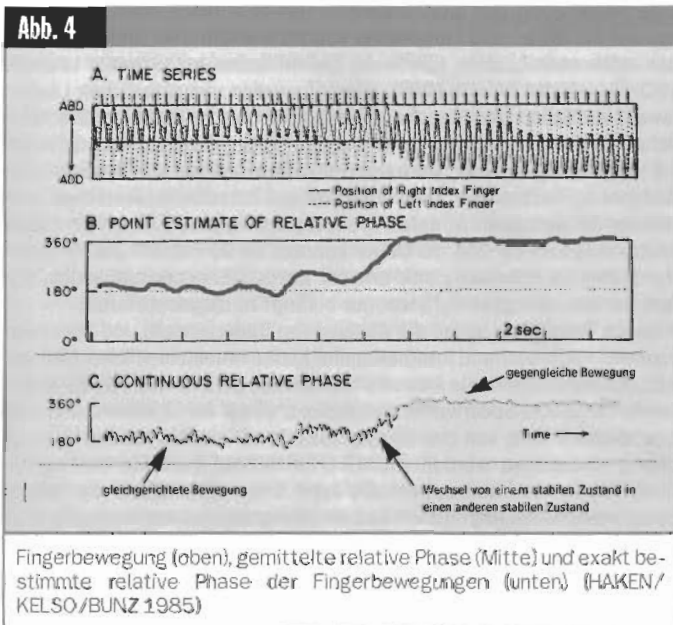
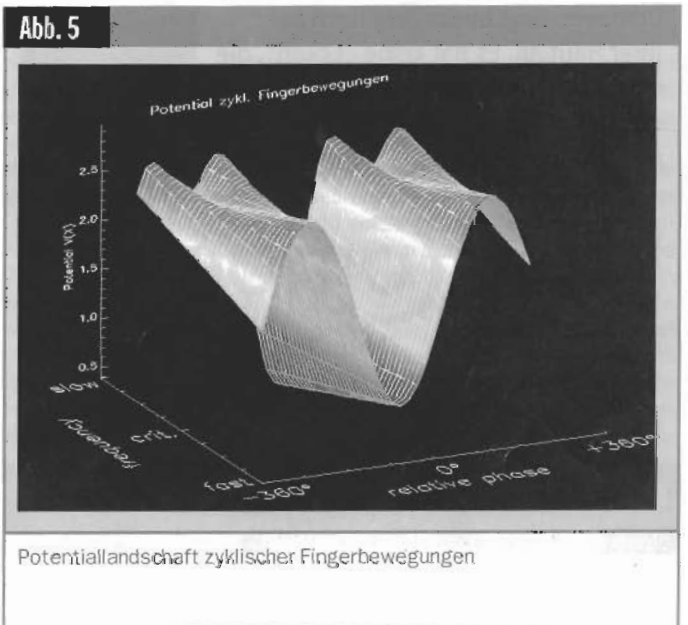


Abb. 5



Phase für zyklische Bewegungen auf den allgemeineren Parameter der Verlaufsähnlichkeit für ballistische Bewegungen übergegangen (SCHÖLLHORN 1994). Ein Vorteil dieses generalisierten Parameters besteht in der Möglichkeit, sowohl zyklische als auch azyklische Bewegungsformen zu beschreiben, d.h., durch die quantitative Analyse von Variablen-Zeit-Verläufen können komplexstrukturierte Bewegungsqualitäten wie z.B. die Gestalt einer Bewegung quantifiziert werden, die mittels zeitdiskreter Bewegungsbeschreibung große Schwierigkeiten bereiteten und bislang nicht durchgeführt wurden. Die Möglichkeit, Bewegungsgestalten zu analysieren, umfaßt unter anderem den quantitativen Vergleich unterschiedlicher Bewegungsklassen wie Laufen, Springen oder Werfen, unterschiedlicher Bewegungsmodi wie federndes oder schleichendes Gehen sowie den Vergleich unterschiedlicher Bewegungsstile (individuelle Ausprägungen der Bewegungsklassen).

Eine nichtlineare neuronale Netzanalyse eines einjährigen motorischen Lernprozesses von zwei fortgeschrittenen Diskuswerfern (Nationalmannschaft Diskus und Zehnkampf) mittels unterschiedlicher Variablenkategorien (Anfangsmerkmale, Merkmalsumfänge, Zeitverlauf) und unterschiedlichen Beobachtungsebenen (Kinematik und Dynamik) bestätigte die äußerst geringe Wahrscheinlichkeit, jemals zwei identische Bewegungen auszuführen (SCHÖLLHORN 1998). Beschreibt man den Verlauf der finalen Abwurfphase (ca. 200 ms Dauer) beim Diskuswurf anhand der Winkel und Winkelgeschwindigkeiten der großen Gelenke (Fuß, Knie, Hüfte, Schulter, Ellbogen, Kopf, Rumpf), so sind sowohl in den Anfangswerten als auch in den Merkmalsumfängen und den Verlaufscharakteristiken über die Dauer eines Jahres ständig Schwankungen festzustellen. D.h., obwohl es sich um sehr erfahrene Athleten handelte, konnten innerhalb eines Jahres keine zwei identischen Würfe identifiziert werden (zur Unmöglichkeit identischer Bewegungen vgl. auch HATZE 1986).

Ein Vergleich der beiden Lernprozesse der Diskuswerfer lieferte ferner detaillierteren Aufschluß über Bewegungsinvarianten und ihre Entwicklung. Invarianten zeigten sich fast ausschließlich im Bereich der verlaufsorientierten Bewegungsgestalt und scheinen nicht per se zu existieren oder sind von Anfang an im Sinne der SCHMIDT'schen Schematheorie (1975) entsprechend zu trainieren oder einzuschleifen, sondern entwickeln sich vielmehr aus einer Vielzahl an Variationen und Kombinationen der Variablenkategorien bzw. Bewegungsbedingungen. Neben der Identifizierung einer qualitativen Änderung (Phasenübergang) der Diskuswurftechnik bei einem Athleten konnten beim anderen Athleten sogar tagesabhängige Wurfstrategien identifiziert werden (BAUER/SCHÖLLHORN 1997).

4. Systemdynamik und Individualität

Eine Anwendung der gleichen nichtlinearen Mustererkennungsverfahren auf die Stütz- und Flugphasen von zehn erfahrenen und zehn weniger erfahrenen Läufern führte zur Identifikation individueller Laufstile (SCHÖLLHORN/BAUER 1998). Hierbei wurden von sämtlichen Läufern jeweils die Stütz- und Flugphasen eines Doppelschritts bei unterschiedlichen Laufgeschwindigkeiten (3 bis 6 m/s) dreidimensional analysiert. In Verbindung mit der Mustererkennung erbrachte die kinematische Analyse der Stützphasen eine 90prozentige Zuordnung sämtlicher Laufmuster der einzelnen Athleten in separate Gruppen, d.h., anhand einer Stützphase von ca. 200 ms Dauer konnten zu 90 Prozent die Personen durch ihre 'Laufcharakteristik' erkannt werden. Eine Leistungsabhängigkeit der Bewegungsabläufe war nur bedingt zu diagnostizieren.

Analoge Ergebnisse ergab die Analyse von Speerwerfern und Speerwerferinnen nationaler und internationaler Klasse unterschiedlicher Nationalität. Es wurde die finale Abwurfphase (Dauer ca. 200 ms) von 29 Speerwerferinnen und Speerwerfern analysiert, wobei von 2 Athletinnen zehn bzw. sechs Würfe, von den übrigen jeweils nur ein Wurf in die Untersuchung einbezogen wurden (SCHÖLLHORN/BAUER 1998). Von sämtlichen Würfen konnten sowohl die zehn bzw. sechs Würfe der beiden Speerwerferinnen identifiziert und eindeutig zugeordnet werden und eine geschlechtsspezifische Trennung der Wurftechniken erfolgen. Interessanterweise war bei Speerwerferinnen und Speerwerfern unterschiedlicher Nationalität eine wesentlich größere Variationsbreite der Wurfmuster festzustellen als innerhalb einer Nation bei gleichen Wurfweiten. Der

Verdacht von nationenspezifischen oder ideologieabhängigen Idealtechniken liegt hier nahe. Eine Wurfweitenabhängigkeit der Wurfmuster war vereinzelt intra- jedoch nicht interindividuell festzustellen.

5. Probleme mit klassischen Trainingsansätzen

Die Beobachtung ständiger Fluktuationen schon bei einfachsten Bewegungsformen, die äußerst geringe Wahrscheinlichkeit einer identischen Bewegungswiederholung sowie die hohe Individualität bei Anfängern und Fortgeschrittenen in unterschiedlichsten Sportarten führt zum Hinterfragen klassischer Vorstellungen von Techniktraining. Hier sollen drei Bereiche des Trainings angesprochen werden, die durch die Phänomene berührt werden:

1. die Bedeutung von Fehlern,
2. das Einschleifen von Bewegungen und
3. die Bedeutung von Ideal- oder Zieltechniken.

● Zur Bedeutung von Fehlern

Hier führt das Konzept der Systemdynamik mit dem grundlegenden Einfluß der Schwankungen bzw. Fluktuationen bei der Entwicklung eines Systems zu einer Relativierung des Begriffs 'Fehler'. Prinzipiell impliziert die Verwendung des Begriffs 'Fehler' ein Wissen um das 'Richtige' und wird beim Lernen meist zu vermeiden versucht. Interpretieren wir jedoch die in allen biologischen Lebewesen auftretenden Schwankungen und Intermittenzen als Fehler, dann können Fehler auch als eine Notwendigkeit für Lernen betrachtet werden. Die grundlegende Bedeutung von Differenzen für sämtliche Adaptationsprozesse ist hinlänglich aus der Biologie bekannt. In Verbindung mit der hohen Individualität der Bewegungsmuster kommt jedoch die Schwierigkeit hinzu, das 'Richtige' festzulegen, zumal selbst bei erfahrenen Sportlern noch Schwankungen in der Bewegungsausführung zu beobachten sind. Im Unterschied zu Anfängern scheinen sie aber ein Repertoire zu haben, um auf die Schwankungen entsprechend zu reagieren (vgl. auch MUNZERT 1996).

● Zur Bedeutung des Einschleifprozesses

Hierbei bezieht sich die Problematik auf die Funktion des Einschleifprozesses bzw. das Ziel, auf das ein Einschleifprozess ausgerichtet ist, da die Wahrscheinlichkeit zweier identischer Bewegungen verschwindend gering ist. Sicher sind und werden durch ständiges Wiederholen der gleichen Bewegung große Erfolge erzielt. Ebenso sicher ist, daß durch die Vielzahl an Wiederholungen und wegen der geringen Wahrscheinlichkeit einer identischen Bewegung ein gewisses Maß an Streuung (in einem hochdimensionalen Raum) um die eigentliche 'Zielbewegung' herum erzeugt wird. Innerhalb der Vielzahl an Versuchen wird der Athlet auch mehr oder weniger zufällig auf seine 'optimale Lösung' stoßen. Ungeklärt ist jedoch, ob der Erfolg durch die Anzahl an Wiederholungen zustande kommt, oder durch die Größe der Streuung. Liegt er im Bereich der Streuung, dann

liegt darin für die Gestaltung eines effektiven Trainingsprozesses eine große Chance.

● Zur Bedeutung von Ziel- und Idealtechniken Diesbezüglich ergeben sich zum einen Schwierigkeiten aufgrund der Identifikation individueller Bewegungsmuster sowohl bei Anfängern als auch bei Fortgeschrittenen und zum anderen durch den Hinweis auf nationen- bzw. ideologiespezifische Bewegungstechniken. Gehen wir davon aus, daß Weltklasseathleten ihre momentanen Optima gefunden haben, diese jedoch für jeden sehr individuell sind, gleichzeitig die Individualität schon bei Anfängern festzustellen ist, dann bestätigt dies zum einen die Forderung nach Forschungsbedarf zum Prinzip der Individualität (NEUMAIER 1997), zum anderen führt es jedoch zu einem Konflikt, jungen Sportlerinnen und Sportlern spezielle Bewegungstechniken beizubringen, die in ihrem eigenen Erwachsenenalter entweder überholt (Beispiel: Skitechniken) sein oder nicht mehr zum Körper und zur Mentalität der Person „passen“ könnten. Die Möglichkeit, für jeden Athleten eine individuelle Idealtechnik zu berechnen, scheint hier auf den ersten Blick zwar plausibel, auf den zweiten Blick jedoch, unter Beachtung des Schwankungs- und Adaptationsverhaltens biologischer Wesen und der Unschärferelation mit der nichtlinearen Wechselwirkung ihrer Meßungenaugigkeiten wenn überhaupt, dann nur in sehr weiten Grenzen möglich. Wird ein Athlet für die Vorhersage der nächsten Bewegung exakt vermessen, dann sind bei der nächsten Bewegungsdurchführung aufgrund des Gedächtnisses biologischer Systeme schon wieder neue Zustände gegeben, d.h., der Sportler müßte eigentlich wieder neu vermessen werden usw.

6. Theoretische und praktische Konsequenzen – ein verändertes Konzept zum Techniktraining

Theoretische Konsequenzen

Wir stehen also vor dem Dilemma, daß es einerseits relativ unwahrscheinlich ist, 'Fehler' im Sinne von Schwankungen oder Intermittenzen zu vermeiden, andererseits große Schwierigkeiten bereitet, auch zeitlich überdauernde individuelle Idealtechniken zu bestimmen. Einen möglichen Ausweg bietet ein Konzept, das im folgenden als 'differentielles Lernen und Lehren' bezeichnet wird. Das Konzept macht sich die Notwendigkeit von Schwankungen bzw. 'Fehlern' für das Lernen zunutze. Betrachten wir Schwankungen als Abweichungen von einem Bezugspunkt, dann stellen sie Differenzen dar, die es einem System erlauben, ständig auf sich verändernde Bedingungen adäquat zu reagieren bzw. sich anzupassen. Die Begriffswahl orientiert sich entsprechend an Bedingungen, die allgemein für biologische Adaptationsprozesse eine Notwendigkeit darstellen. Einen wesentlichen Einfluß auf Lernen bzw. Adaptation scheint demnach die Existenz von Differenzen zu haben, d.h., ein Großteil an Informa-

tion ist in der Differenz von zwei Reizen enthalten. Beispiele finden sich u.a. in den paarweise angeordneten Sinnesorganen, die aus der Differenz ihrer Reizungen eine zusätzliche Information entnehmen. Aus der einzelnen Reizung eines Auges oder Ohrs wäre beispielsweise die räumliche Information nicht zu entnehmen. Lern- und informationstheoretisch fällt es demnach schwer, eine Begründung für das Wiederholen zweimal exakt derselben Bewegung zu finden, und es ist auch bei hinreichend exakter Messung bei der automatisiertesten menschlichen Bewegung nicht zu beobachten. Wird eine Bewegung zweimal ausgeführt, so weisen beide Ausführungen aufgrund ihrer Unterschiedlichkeit zueinander eine Differenz auf. Wird die gleiche Bewegung ein drittes Mal ausgeführt, so liegt diese entweder im Bereich zwischen den beiden zuerst ausgeführten oder außerhalb der aufgespannten Differenz. Da es sich bei den Bewegungen um (hochdimensionale) Bewegungen mit entsprechend hoher Anzahl an Freiheitsgraden handelt, wird jede erneute Wiederholung eine mehr oder weniger große Differenz zu den bisherigen Bewegungsausführungen aufweisen. Werden nun nach gängigen Vorstellungen alle bisher ausgeführten Bewegungen im Gedächtnis gespeichert, dann stehen wir immer noch vor dem Problem der nächsten Ausführung, da sie sich ja sicher von den bisherigen wieder unterscheiden wird – und sei es nur in einem Detail.

Zur Diskussion stehen demnach Mechanismen, die es erlauben, in diesen ständig neuen Situationen trotz ihrer Unbekanntheit adäquat und schnell zu reagieren. Mögliche Erklärungskonzepte stellen zum einen die Mechanismen der *Interpolation und Extrapolation* dar und zum anderen eine *periphere Selbstorganisation*. Interpolation beschreibt hier einen Mechanismus, der im Bereich zwischen zwei vorhandenen Zuständen ('gespeicherte Bewegungen') abschätzt, das Verfahren der Extrapolation umfaßt einen Mechanismus, der von zwei vorhandenen Zuständen auf einen dritten außerhalb des Intervalls abschätzt. Während insgesamt die Theorie zum Phänomen der Extrapolation in neuronalen Systemen noch weitestgehend unerforscht ist, liegen zum Mechanismus der Interpolation zahlreiche Modelle künstlicher neuronaler Netze vor, die bereits erfolgreiche Anwendungen aufweisen.

Künstliche neuronale Netze, die sich an Modellen von Neuronen orientieren, werden im allgemeinen mit einem bestimmten Datensatz trainiert und bewähren sich in trainiertem Zustand an einem anderen Datensatz. Sie funktionieren dann sehr gut innerhalb des Bereichs, in dem sie trainiert wurden, d.h., sie können sehr gut interpolieren. Außerhalb dieses Bereichs, bei der Extrapolation, liefern sie jedoch nur sehr mäßige Resultate. Es wird daher versucht, neben der Anzahl vor allem den Umfang der Trainingsdaten entsprechend weit zu legen, um dem Netz im Anwendungsfall einen größeren Bereich zur Interpolation zur Verfügung zu stellen (HERTZ/KROGH/PALMER 1991). Wird z.B. ein durch ein neuronales Netz gesteuerter Roboter in einer ausgewählten Umgebung auf ständiges Fortbewegen trainiert, so zeigt er

anschließend zwar in der gelernten Umgebung sehr gute Ergebnisse, in jeder neuen jedoch versagt er innerhalb kürzester Zeit. Wird der Trainingsprozeß jedoch mit „Rauschen“ versetzt, so finden sich die Roboter auch in ihnen unbekanntem Situationen gut zurecht (MIGLIANO/LUND/NOLFI 1995). Mit dem Trainieren der möglichen Streugrenzen versucht der „externe Lehrer“, sich somit auf die Fähigkeit der Interpolation des lernenden Systems zu verlassen.

Das Erklärungsprinzip der *peripheren Selbstorganisation* bezieht sich auf das Dilemma der Perfektionierung der Bewegungsprogrammierung bei gleichzeitiger Modifizierung der Bewegungsausführung (u.a. ZANON 1997). Erwarten wir im Unterschied zu streng hierarchischen Bewegungsmodellen nicht eine vollständig detaillierte Programmierung sämtlicher Bewegungselemente über die gesamte Dauer einer Bewegung, sondern gestehen den peripher beteiligten Bewegungselementen Eigenschaften zu, die eigenständig unterstützenden Einfluß auf ein etwas weiter gefaßtes Bewegungsziel haben, dann löst sich das Dilemma in Wohlgefallen auf. Ein Beispiel aus dem Alltag soll dies verdeutlichen:

Steuern wir ein Auto mit gefederten Luftreifen über unterschiedlichsten Untergrund, dann genügt es dem Fahrer im allgemeinen sich grob an den Begrenzungen der Fahrbahn zu orientieren. Die Federung sowie die Luftreifen werden eventuelle Unebenheiten durch ihre Eigenschaften so dämpfen, daß die Fahrerkabine nahezu erschütterungsfrei über den Asphalt gleitet. Dabei ist kein Wissen und keine Kontrolle des Fahrers über die Dämpfungseigenschaften von Federn und Reifen notwendig. Handelt es sich bei dem Gefährt jedoch um ein Fortbewegungsmittel mit starren Holzreifen, dann erfordert dies vom Fahrer ein erhebliches Mehr an Wissen und Kontrolle über die Räder, um sich einigermaßen erschütterungsfrei fortzubewegen.

Im Unterschied zum Auto, bei dem Konstrukteure die Eigenschaften der Federung vorab festlegen, ist der Mensch fähig, solche „selbstorganisierenden“ Eigenschaften der Peripherie selbst einzustellen, die situationspezifische Einstellung muß jedoch erlernt und ständig angepaßt werden. So wurde jüngst von WAGNER/BLICKHAN (1998) gezeigt, daß die Einstellung bestimmter Muskelparameter genügt, um eine zyklische Bewegung stabil zu halten. Sind die Parameter falsch eingestellt, dann führt dies entweder zur Katastrophe oder zum Stillstand. LOEB (1995) spricht in Zusammenhang mit der Voreinstellung auch von einem *Preflex*. Dies kann als eine ständig angepaßte „Vorab-Einstellung“ des Bewegungssystems verstanden werden, die es erlaubt, ohne Einbeziehen von im ZNS „höher gelegenen Kontrollinstanzen“ entsprechend schnell und adäquat auf die neue Situation zu reagieren. Diese „Vorab-Einstellung“ des Bewegungssystems kann als ein ständiges Abschätzen (Interpolieren) des Zukünftigen aufgrund der vergangenen Bedingungen bzw. als eine kurzfristige Erwartungshaltung bezüglich des Kommenden betrachtet werden und dient dem mög-

lichst schnellen Reagieren auf die neu angebotene Situation.

Unterstützt wird der Prozeß des schnellen Reagierens mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die Fähigkeit, die Bewegung ohne Bewußtsein auszuführen, was oft mit dem Begriff der Automatisierung beschrieben wird (vgl. auch DAUGS 1993). Im Unterschied zur Befreiung der ursprünglich willkürlich kontrollierten Bewegungsausführung vom Bewußtsein, ist das differenzielle Lernen von Anfang an mehr darauf ausgerichtet, die unbewußten Reaktions- und Lernmechanismen früher wirksam werden zu lassen, um nicht zu stark durch das Bewußtsein limitiert zu werden. Hier finden sich Analogien zu motorischen Lernprozessen bei Kleinkindern (THELEN/SMITH 1993), die ohne „viel Bewußtsein“ und externe Anweisungen die ersten beiden Jahre so viel lernen wie kein anderes System, das in der Biologie, Physik oder Chemie bekannt ist.

Praktische Konsequenzen

Analog den Differenzen bei der biologischen Adaptation wird in der Praxis des differentiellen Lernens und Lehrens durch „Abtasten“ der Streugrenzen zum einen auf die Fähigkeit des „Interpolierens“ seitens des Athleten stärker zurückgegriffen und zum anderen dem Athleten die Möglichkeit geboten, sich aus der Vielzahl an Übungen diejenigen auszusuchen, die ihm bewußt und/oder unbewußt „am meisten zusagen“. Durch Ausführen der möglichen „Fehler“ in sämtlichen Kombinationen wird so der Bereich des individuellen Optimums „vom Athleten selbst gefunden“.

Differentielles Lernen impliziert weder den Überfluß des Trainers noch das freie Versuchs-Irrtum-Lernen oder das ausschließliche Üben von 'Fehlern'. Es umfaßt im Gegenteil das Wissen um den gesamten Bereich der möglichen Schwankungen. Differentielles Lernen beinhaltet das Lernen in Gegensätzen, das motorische Ausführungen im Bereich der „möglichen Lösungen“ in unmittelbarem Vergleich mit den „Fehlern“ einschließt. Zentraler Bestandteil des differentiellen Lernens ist das Lernen an Differenzen mittels vielfältigster Übungen. Durch Verstärken der Schwankungen während des Aneignungs- und Automatisationsprozesses soll ein Vorgang der Selbstorganisation beim Athleten gezielt ausgelöst werden.

An einem Beispiel aus der Leichtathletik, dem Hürdenlauf, soll eine mögliche Vorgehensweise beim differentiellen Lernen und Lehren dargestellt werden. Stellt sich beim Hürdenlaufen ein in Laufrichtung gerade „gekicktes“ Schwungbein als günstig heraus, so wird dies beim einzelnen häufig auch mehr oder weniger schnell mittels unterschiedlicher Hürdenhöhen, variierender Abstände, vielseitigster Anweisungen oder Beinwechsel erzielt. Neben diesen Möglichkeiten „Rauschen zur Zielbewegung“ zu addieren, beinhaltet das Konzept des differentiellen Lernens zusätzlich die gezielte Ausführung von „Bewegungsfehlern“. In diesem Falle entspricht dies z.B. einem Laufen über mehrere Hürden mit 'Fehlerrausführungen'. Hierbei wird das Schwungbein zunächst

nach rechts vorne gekickt (gezielt außerhalb der Achse der Laufrichtung), an der nächsten Hürde nach links vorne, dann gerade, dann wieder nach rechts vorne etc. Ist die Schwungbeinbewegung eher „geführt“ als „gekickt“, dann lassen sich die aufgeführten Übungen zusätzlich kombinieren mit gebeugtem, gestrecktem und gekicktem Schwungbein. Da sich eine veränderte Schwungbeinbewegung immer auf die Rumpf- und Armbewegung mit auswirkt (und umgekehrt), empfiehlt es sich, diese Übungen auch mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen bezüglich der Arme ausführen zu lassen, z.B. mit völlig gebeugten Armen, ohne Armarbeit, Armbewegung nur in der Horizontalen oder den linken Arm anders als den rechten etc. Kombinieren wir dies u.a. mit den bereits aufgeführten Möglichkeiten der Hürdenabstände und -höhen, dann wird die Wahrscheinlichkeit recht groß, daß der Athlet aus der Vielfalt an Bewegungsausführungen den „Bereich seiner optimalen Technik“ bei entsprechender Entfernung zur Hürde mit den adäquaten Abflugbedingungen „herausfindet“. Wird dann nicht ausschließlich der gefundene Bereich der Bewegungstechnik trainiert, sondern weiterhin die bereits genannten „Möglichkeiten des Rauschens“ mit Änderungen der Geschwindigkeit und Variationen des Lauf- oder internen Überquerungsrhythmus verbunden, dann steigt die Wahrscheinlichkeit, daß der Athlet seine „gefundene optimale Technik“ unter verschiedensten (Wettkampf-)Bedingungen bereitstellen kann. Unter Laufrhythmus wird hier die unterschiedliche Anzahl an Schritten zwischen den Hürden verstanden, und mit internem Überquerungsrhythmus die zeitliche Dynamik der Extremitätenbewegungen. Eine Differenzierung des internen Überquerungsrhythmus kann z.B. erreicht werden durch Aufstellen der Hürden in einem oder mehreren Bögen – im Extremfall bis zum Kreis oder zur Acht. Läuft der Athlet im Bogen, werden die Bewegungen auf der Bogeninnenseite auf verkürztem Weg und die Bewegungen auf der Bogenaußenseite auf verlängertem Weg zu schnellerer Aktivität gezwungen. Wechselt man öfter die Richtung des Bogens, kommt es zusätzlich zu einer Variation der Oberkörperlage und damit zu einer recht ganzheitlichen Vorbereitung der Rumpfmuskulatur auf zukünftige „unbekannte“ Belastungen (weitere Beispiele aus dem Laufbereich vgl. SCHÖLLHORN 1995).

Systematische Anhaltspunkte zur Vorgehensweise beim differentiellen Lernen könnten demnach sein:

- das Variieren von Anfangs- bzw. Endbedingungen einer Bewegung,
- das Ändern der Merkmalsumfänge oder
- das Wechseln der Bewegungsverläufe in Dauer und Rhythmus.

Variieren wir beim Gehen die Anfangsbedingungen, so gehen wir z.B. mit gebeugten Knien. Gehen wir mit längeren oder kürzeren Schritten, schnell oder langsam, dann ändern wir primär die Merkmalsumfänge. Gehen wir federnd, schleichend etc. wechseln wir die Bewegungsverläufe. Diese drei Änderungsmög-

lichkeiten können in erster Näherung auf jedes große Gelenk und an jedem Gelenk auf jedes Merkmal (der a) Gelenkwinkel, b) Gelenkwinkelgeschwindigkeit, c) Gelenkbeschleunigungen etc. angewandt werden. In Kombination mit dem Ausschluß von Körperteilen an einer Bewegung oder durch das Verändern 'innerer' Bedingungen wie Muskelermüdungszustände oder psychische Erregungszustände liegen rein mathematisch schon bei der Ausführung der 'Streuungsgrenzen' eine enorme Anzahl an Differenzierungsmöglichkeiten und entsprechende Möglichkeiten zu lernen vor. Die Untergliederung von a) bis c) liefert auch einen möglichen Anhaltspunkt für den langfristigen Lernprozeß. Zu Beginn eines Lernprozesses wird primär die Geometrie (die Winkel) verändert, während beim Fortgeschrittenen eher im Bereich der Winkelgeschwindigkeiten und beim Könnern die Beschleunigungen oder der Rhythmus variiert werden. Auf das Beispiel des Laufens bezogen kann zu Beginn mehr im Bereich der Schrittlänge oder Bewegungsamplitude differenziert werden (z.B. lange Schritte bei kurzen Armschwüngen oder umgekehrt), dann im Bereich der „Bewegungsgeschwindigkeit“ (z.B. links schnell – rechts langsam oder hohe Schrittfrequenz mit niedriger abgewechselt) und in einem noch weiter fortgeschrittenen Stadium der Rhythmus bzw. „die Beschleunigungen“ (z.B. aktive Fußgelenksarbeit im Wechsel mit Hopselauf oder Wechsel zwischen Schrittsprung und Lauf und umgekehrt). In jedem Stadium des Lernens sollten jedoch ständig in allen drei Bereichen Variationen durchgeführt werden. Eine besondere Rolle kommt beim differentiellen Lernen dem Trainer bzw. Lehrer dadurch zu, daß er den Umfang der Variationen bzw. Veränderungen auf die individuellen Bedingungen der Athleten auch tagessabhängig abzustimmen hat.

Auf den mittel- und längerfristigen Trainingsprozeß ist das Konzept des differentiellen Lernens in ähnlicher Form auf unterschiedliche Zeitskalen anwendbar. Wird ein bestimmter Umfang an Variation über eine gewisse Zeit angewendet, so ist auch die 'Variation zu variieren', um wieder eine Differenz zu erhalten. Hierbei stellt dann auch für eine gewisse Zeit die mehrmalige Wiederholung der gleichen Bewegung eine Form der Differenzierung dar. Die Zeitskalen der Anwendung orientieren sich in erster Linie an biologischen Adaptationszeiten und Rhythmen, die z.B. beim Muskel im Bereich von vier Wochen liegen, bei Bändern und Sehnen bei drei bis sechs Monaten und bei Knochen- bzw. dem Knorpelmaterial im Bereich von einem Jahr. Daß diese Adaptationszeiten nicht ausschließlich an der Dauer festzumachen sind, sondern von individuellen Rhythmen überlagert werden, konnte von REISS (1997) bei der Abhängigkeit des Kraftzuwachses vom Menstruationszyklus eindrucksvoll gezeigt werden.

Das Konzept des differentiellen Lernens und Übens stellt somit eine Verallgemeinerung des variablen Übens nach SCHMIDT (1985) dar, basiert jedoch auf biologischen und physikalischen Prinzipien. Im Unterschied zu SCHMIDTs Hypothese des variablen Übens

zielt das differentielle Lernen nicht nur auf die Festigung eines bestehenden einzelnen „generalisierten motorischen Programms“ ab, sondern umfaßt neben ihrem Auffinden und Ausbilden auch unmittelbar ihre variable und differenzierte Anwendung.

Generalisierte motorische Programme stellen dabei Konstrukte dar, die Gemeinsamkeiten bei einer Gruppe von Bewegungen beschreiben und als Metapher für zentralnervöse Prozesse bei der Bewegungsausführung dienen. Da jedoch auch die Ausführungen solch generalisierter motorischer Programme (GMP) ständigen Schwankungen unterliegen, soll der Athlet durch das Ausführen unterschiedlicher generalisierter motorischer Programme die Möglichkeit bekommen, auf mehr 'neue' Situationen vorbereitet zu sein und damit die Bewegung stabiler auszuführen. Die 'gestreute Darbietung' von Übungen verlagert sich vom Auffinden zum Ausbilden bis hin zum Stabilisieren, von der vielfältigen Geometrie (räumliche Gestalt) über die Geschwindigkeit (raum-zeitliche Gestalt) zur variablen Beschleunigung einer Bewegung. Erst durch das Anbieten von Alternativen bekommt ein System die Chance zum Vergleich und damit eventuell zur Selektion. Je weniger Möglichkeiten angeboten werden, desto größer ist die Gefahr von Stereotypen, die nicht optimale Lösungen darstellen, da sie meist nicht mehr fähig sind, sich veränderten Bedingungen anzupassen, und es sich daher meist um lokale Minima handelt. Durch eine größere Streuung wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, das absolute (auf das Individuum abgestimmte) Minimum zu finden. Lokale Minima stellen hier zwar Lösungsmöglichkeiten dar, die aber im Unterschied zu den absoluten Minima nicht auf das Individuum abgestimmt sind und somit im allgemeinen weniger ökonomisch bzw. effektiv sind. Durch differentielles Training lernt der Athlet, wie er auf was zu reagieren hat; er lernt, sich und seinen Körper in unmittelbarer Auseinandersetzung mit der Umwelt kennen und wird nicht Ausführender einer oft 'fremden Idee'.¹⁾

Ein Athlet wird damit von Anfang an weniger auf eine einzelne mögliche Bewegungsausführung mit physikalisch festgelegten Bedingungen (die nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit wieder vorkommen) vorbereitet, vielmehr wird das System Mensch mit der Fähigkeit ausgestattet, auf die ständig neuen Situationen (Schwankungen) entsprechend schnell (unbewußt) und selbständig adäquat zu reagieren. Dieses, bei erfahrenen Sportlern bekannte, rasche Reagieren kann entweder dadurch erzielt werden, daß durch entsprechend viele Wiederholungen der Athlet mit einer möglichst ähnlichen Situation schon einmal konfrontiert wird, oder daß der Athlet aus bekannten extremeren Situationen heraus auf die neue interpolieren und durch eine entsprechende „Vorab-Einstellung“ adäquat und rasch reagieren kann.

Neben den Vorteilen für das Individuum hat die Form des vielfältigen Anbietens beim Unterrichten größerer Gruppen den zusätzlichen Vorteil, mehrere Lernende in der ihnen eigenen

'Körpersprache' anzusprechen. Wird zum Unterrichten nur eine Übung angeboten, so werden durch diese Übung mit großer Wahrscheinlichkeit nur einzelne Gruppenmitglieder den Erwartungen des Lehrenden gemäß „angesprochen“. Mit Zunahme der Anzahl an angebotenen Übungen steigt die Wahrscheinlichkeit, daß für jedes Gruppenmitglied eine Übung dabei ist.

Eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt bei diesem Konzept die Motivation, die bei einer größeren Vielfalt dann eher der natürlicher menschlichen Neugier entgegenkommt, die noch während der ersten beiden Lebensjahre ein sehr erfolgreiches Lernen erlaubt.

Nach vielen allgemeinen, meist qualitativen Lippenbekenntnissen zur Individualität, einigen Ansätzen zur qualitativen Beschreibung individueller Charakteristika (u.a. KÖRNDLE/LIPPENS 1984) und wenig berücksichtigten quantitativen Hinweisen über individuelle Muskeleigenschaften (u.a. GUTEWORT/SUST 1989) oder individuelle physiologische Parameter (u.a. BUSSE u.a. 1991, BUSSE u.a. 1992) sind nun auch für den koordinativen Bereich quantitative belegte Forderungen nach einer individuellen Trainingsgestaltung angebracht.

Für zukünftige Forschung ist auf der Suche nach Gesetzmäßigkeiten der Individuen dabei neben einer verstärkten Individualforschung, hilfreich. Strengt man diese Forderung nicht erst mit zunehmendem Trainingsalter an, sondern schon im Anfängerbereich, dann bietet der Ansatz des differentiellen Lehrens und Lernens eine Chance, die Trainingsqualität im Sinne des physikalischen Resonanzprinzips zu erhöhen. Überwiegend Systeme, die aufeinander abgestimmt sind, bringen es zu Höchstleistungen. Denn, zeichnet nicht gerade die Besten aus, daß sie sich selbst und ihren Körper kennen wie kein anderer, daß sie „wissen“, wann sie sich wieviel zumuten können und müssen, und weisen sich nicht gerade erfolgreiche Trainer dadurch aus, daß sie für jeden Athleten oder jede Mannschaft ein anderes adäquates Konzept haben?

*

Literatur

- ASHBY, R.: An Introduction to Cybernetics. London 1956.
 BAUER, H. U./SCHÖLLHORN, W. I.: Self-organizing maps for the analysis of complex movement patterns. *Neural Processing Letters* 1997, 8, 193-198.
 BUSSE, M.W./MAASSEN, N./KONRAD, H.: Relation between plasma K⁺ and ventilation during incremental exercise after glycogen depletion and repletion in man. *European Journal of Applied Physiology* 64 (1991), 4, 469-476.
 BUSSE, M.W./SCHOLZ, J./MAASSEN, N.: Plasma potassium and ventilation during incremental exercise in man: modulation by NAHCO₃ and substrate availability. *European Journal of Applied Physiology* 65 (1992), 4, 340-346.
 DAUGS, R.: Automatismen und Automatisierung in der menschlichen Motorik. In: DAUGS, R./BLISCHKE, K. (Hrsg.):

¹⁾ Stellen die von der „Wissenschaft“ bereits gefundenen Techniklösungen allgemeingültige Optima dar, dann werden sie auch durch differentielles Lernen „gefunden“. Ein Anspruch ist jedoch, daß dieses Optimum schneller gefunden wird und dabei auch noch die Chance enthalten ist, eventuell nicht bekannte Optima und Grenzen mit zu entdecken.

Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik. Sankt Augustin 1993, 32-55.

EGGER, J.P.: Mündliche Mitteilungen, Cheftrainer Schweiz, 1987/1998.

EMRICH, E./PITSCH, W.: Die Qualitätserhöhung als entscheidende Größe des modernen Nachwuchssports. *Leistungssport* 28 (1998), 6, 5-11.

GUTEWORT, W./SUST, M.: Sporttechnische Leitbilder und individualspezifische Technikvarianten. *Theorie und Praxis des Leistungssports* 27 (1989), 19-35.

HAASE, H.: Catastrophe theory als Modellmethode in der Sportpsychologie. In: SINGER, R.: *Sportpsychologische Forschungsmethodik*. BPS (1991), 162-168.

HAKEN, H.: *Brain functioning*. Berlin 1996.

HAKEN, H./HAKEN-KRELL, M.: *Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung*. Stuttgart 1992.

HAKEN, H./KELSO, J.A.S./BUNZ, H.: A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics* 51 (1985), 347-356.

HATZE, H.: Motion Variability – its Definition, Quantification, and Origin. *Journal of Motor Behavior* 18 (1986), 5-16.

HERTZ, J./KROGH, A./PALMER, R.: *Introduction to the theory of neural computation*. New York 1991.

JANSSEN, J.P.: *Synergetik und Systeme im Sport*. Schorndorf 1996.

KELSO, J.A.S.: *Dynamic Patterns*. Cambridge, MIT, 1995.

KÖRNDLE, H./LIPPENS, V.: Gibt es eine Fußschrift des Ruders? *Rudersport* 1984, 7, 172-175.

LAMES, M.: Synergetik als Konzept in der Sportmotorik. *Sportpsychologie* 6 (1992), 12-18.

LOEB, G.E.: Control implications of musculo-skeletal mechanics. Annual International Conference IEEE-EMBS (1995) (17), 1393-1394.

LOISTL, O./BETZ, I.: *Chaostheorie*. München 1994.

MATWEJEW, L.P.: *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin 1981.

MIGLINO, O./LUND, H.H./NOLFI, S.: Evolving mobile robots in simulated and real environments. *Artificial life* 2 (1995), 4, 417-434.

MUNZERT, J.: Richtig und falsch, genau und ungenau: Über den Umgang mit Fehlern und Abweichungen in der Bewegungsforschung. In: NITSCH, J.R./ALLMER, H.: *Handeln im Sport – zwischen Rationalität und Intuition*. Köln 1996, 166-187.

NEUMAIER, A.: Trainingswissenschaftlicher Ansatz zum Techniktraining. In: NITSCH, J./NEUMAIER, A./de MARÉES, H./MESTER, J.: *Techniktraining*. Schorndorf 1997.

REISS, L.: *Menstruationszyklusgesteuertes Krafttraining*. Schorndorf 1997.

RICHARTZ, A./BRETTSCHNEIDER, W.D.: *Weltmeister werden und die Schule schaffen*. Schorndorf 1996.

SCHMIDT, R.A.: A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review* 82 (1975), 225-260.

SCHMIDT, R.A.: The search for invariance in skilled movement behavior. *Research Quarterly for exercise and Sport* 56 (1985), 188-200.

SCHÖLLHORN, W.I.: Comparison of biomechanical movement patterns by means of orthogonal reference functions. In: BARABAS, A./FABIAN, G.: *Biomechanics in Sports XII*. Budapest 1994. 20-24.

SCHÖLLHORN, W.I.: *Schnelligkeitstraining*. Reinbek 1995.

SCHÖLLHORN, W.I.: *Systemdynamische Betrachtung komplexer Bewegungsmuster im Lernprozeß*. Frankfurt 1997.

SCHÖLLHORN, W.I./BAUER, H.U.: Erkennung von individuellen Laufmustern mit Hilfe von neuronalen Netzen. In: MESTER, J./PERL, J.: *Informatik im Sport*. Köln 1998a.

SCHÖLLHORN, W.I./BAUER, H.U.: Identifying individual movement styles in high performance sports by means of self organizing kohonen maps. In: RIEHLE, H./VIETEN, M.M.: XVI. International Symposium on biomechanics in sports. Proceedings. Konstanz 1998b.

SCHÖNER, G./KELSO, J.A.S.: A dynamic pattern theory of behavioral change. *Journal of theoretical biology* 135 (1988), 501-524.

THELEN, E./SMITH: *A Systems dynamic approach to development*. Cambridge, MIT, 1993.

THOM, J.: *Stabilité structurelle et morpho-génèse*. 1972.

VERCHOSCHANSKIJ, J.V.: Das Ende der Periodisierung. *Leistungssport* 28 (1998), 5, 14-19.

WAGNER, H./BLICKHAN, R.: Stabilizing function of skeletal muscle – an analytical approach. *Journal of Theoretical Biology* (im Druck).

ZANON, S.: Die alte „Theorie des Trainings“ in der Kritik. *Leistungssport* 27 (1997), 3, 18-19.

ZASTROW, H.: *Jugend, Schule, Sport: Dimensionen des Begabungskonzepts*. Schorndorf 1996.

*

Der Autor

Dr. Wolfgang SCHÖLLHORN, Privatdozent am Institut für Sportwissenschaft der Universität Leipzig; Arbeitsschwerpunkte sind die Bereiche Systemdynamik und Bewegungslernen, insbesondere Bewegungsmustererkennung; A-Trainer in der Leichtathletik
Anschrift: Universität Leipzig, Institut für Sportwissenschaft, Jahnallee 59, 04109 Leipzig; E-mail: schoell@rz.uni-leipzig.de