

Österreich befindet sich zu Redaktionssende gerade in der letzten Phase vor der Volksabstimmung, die über den Beitritt Österreichs zur EU (zumindest aus österreichischer Perspektive) entscheiden wird. Mit den Beiträgen von Tokarski und von Sulzbacher wird auch diesem Thema Rechnung getragen.

Mit dem Thema Betriebssport als Gesundheitspotential leistet Mitterbauer einen deskriptiven Beitrag zur Wirkung von Gesundheitsprogrammen.

Hasenöhrl faßt in seinem Beitrag die Ergebnisse einer mehrjährigen Arbeit zur Strukturierung von Fachverbänden zusammen. Der Beitrag soll Sportorganisationen als Orientierungs- und Strukturierungshilfe dienen. Außerdem ist der Österreichische Spitzensportausschuß bereit, interessierte Verbände umfassend zu beraten.

Wir hoffen, den Leserinnen und Lesern mit diesem Hefties wieder informative und interessante Beiträge zu liefern, die die fachliche Diskussion anregen.

Raimund Sobotka & Günter Amesberger

Josef Wiemeyer

Perspektiven der Motorikforschung

Kritische Reflexion zentraler Positionen und ausgewählter Probleme der psychologisch akzentuierten Motorikforschung

Abstract: Perspectives in Motor Research. Critical Views on Major Issues of Psychological Motor Research

This article is a critical analysis of the way in which concepts as 'movement', 'motor-control' and 'motor-learning' are explained and conceptualized in the psychologically oriented motor research model. Two major approaches in motor research are discussed, called the 'motor approach' ('information processing approach') and the 'action approach', both of them having potentials and weaknesses. While motor-approaches have their strength in the modelling of internal representation processes, 'action approaches' investigate the intrinsic system-dynamics. Motor approaches are partly based on wrong assumptions (e.g. computers analogy and the problem of the degree of freedom). Action approaches on the other hand - while concentrating primarily on the investigation of quasi-physical principles of motor performance - neglect cognitive processes. As a perspective for the future the author suggests the utilization of hybrid models, combining the advantages of both approaches.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird kritisch analysiert, wie "Bewegung", "Bewegungskontrolle" und "Bewegenslernen" in der psychologisch akzentuierten Motorikforschung expliziert und konkretisiert werden. Es werden vor allem zwei zentrale Ansätze der Motorikforschung (Informationsverarbeitungs- und ökologische Ansätze) berücksichtigt. Dabei zeigen beide Ansätze Stärken und Schwächen. Während Informationsverarbeitungsansätze vor allem bei der Modellierung interner Repräsentationsprozesse Stärken aufweisen, zeichnen sich ökologische Ansätze vor allem bei der Erforschung der intrinsischen Systemdynamik aus. Informationsverarbeitungsansätze beruhen zum Teil auf falschen Annahmen (z.B. Computer-Analogie und Freiheitsgrad-Problem), während die ökologischen Ansätze durch die primäre Konzentration auf die Erforschung quasi-physikalischer Gesetzmäßigkeiten der Motorik kognitive Prozesse vernachlässigen. Als Zukunftsperspektive wird die Orientierung an "hybriden" Modellen angesehen, die die Vorteile der beiden Ansätze verbinden können.

1. Einleitung

In der Motorikforschung existieren für die Analyse sensomotorischer Prozesse bei der Kontrolle von Bewegungen zahlreiche Perspektiven und Ansätze. Diese Ansätze werden unterschiedlich systematisiert (z.B. WILLIMCZIK/ ROTH 1983; ZIMMER/ KÖRNDLE 1988; MECHLING 1992 b). Im Rahmen dieses Beitrags werden die Begriffe "Motorik", "Bewegung" und "Sensomotorik" als Bezeichnung für alle internen und externen Aspekte oder Prozesse des Bewehens weitgehend synonym verwendet (zu unterschiedlichen Positionen WILLIMCZIK/ ROTH 1983, 11-13; zur wissenschaftstheoretisch begründeten Forderung nach einer definitiven Trennung BÖS/ MECHLING 1992).

In dem vorliegenden Systematisierungsvorschlag werden - bezogen auf sensomotorische Regulationsprozesse im engeren Sinn - drei verschiedene Richtungen von Ansätzen differenziert (s. Tab. 1). Dabei werden primär psychologisch orientierte Ansätze berücksichtigt. Physiologische Ansätze werden aus systematischen Gründen vernachlässigt, da sie einerseits von mehreren, teils konkurrierenden Ansätzen der psychologischen Motorikforschung aufgegriffen werden, und damit nicht eindeutig einem Ansatz zuzuordnen sind und andererseits eine andere Analyseebene darstellen (vgl. STELMACH/DIGGLES 1982).

Verhaltensorientierte Ansätze	Informationsverarbeitungsansätze (motor approaches)	Ökologische Ansätze (action approaches)
Linearität black box S-R-Theorie	Hierarchie zentrale Bewegungs- präsentation individuumzentriert Computer-Metapher	Heterarchie dynamische selbstorga- nisierende Systeme Individuum-Umwelt- Verschränkung
verschiedene Lernmo- delle (z.B. Shaping)	Regelkreisansätze („closed loop“) Programmansätze („open loop“) gemischte Ansätze	Gestalttheorie Gibson Neo-Gibsonianer

Tab. 1: Vorschlag zur Systematisierung der unterschiedlichen Ansätze sensomotorischer Regulationsprozesse.

Wir unterscheiden zwischen verhaltensorientierten, Informationsverarbeitungs- und ökologischen Ansätzen. Die verschiedenen Richtungen unterscheiden sich vor allem in der Orientierung an Außen- und Innensicht, der Struktur der Bewegungsregulationsprozesse (linear, hierarchisch, heterarchisch), in der Bedeutung interner Bewegungsrepräsentationen und in der Akzentuierung von Person, Umwelt oder Person-Umwelt-Interaktion.

Im vorliegenden Beitrag sollen die zentralen Begriffe, Konzepte und die mit ihnen verbundenen Probleme kritisch analysiert werden, die in der psychologisch akzentuierten Motorikforschung aktuell diskutiert und unter anderem auch durch den Informationsverarbeitungsansatz und den ökologischen Ansatz thematisiert werden.

Wie werden "Bewegung des Menschen", "Bewegungskontrolle" und "Bewegungslernen" expliziert und konzeptualisiert und welche Probleme ergeben sich daraus? "Bewegung" wird als der umfassendere Begriff angesehen, der Kontrolle und Lernen einschließt. Der Begriff "Bewegungskontrolle" umfaßt seinerseits auch "Bewegungslernen". Da die einzelnen Begriffe jeweils spezifische Probleme aufwerfen, wurde in diesem Beitrag eine Trennung vorgenommen. In Abb. 1 sind diese Abgrenzungen veranschaulicht.

Es soll unter anderem die Frage gestellt werden, welche zentralen Konzepte und Kernannahmen der Bewegung des Menschen angemessen sind. Als Kriterien der Angemessenheit der Konzepte werden - soweit möglich - die folgenden Aspekte thematisiert:

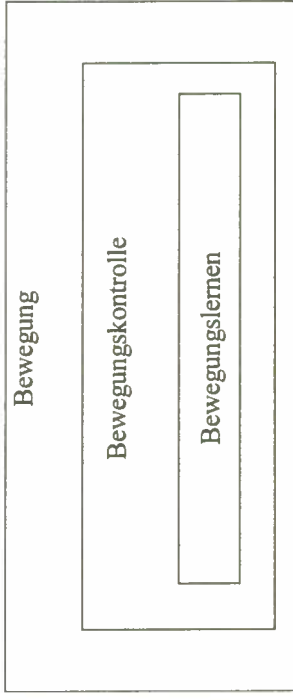


Abb. 1: Schematische Darstellung der Abgrenzung der Begriffe "Bewegung", "Bewegungskontrolle" und "Bewegungslernen"

- **Logische Konsistenz:** Bei den zu diskutierenden Konzepten stellt sich die Frage, ob sie logisch widerspruchsfrei sind.
- **Empirische Bewährtheit:** Weiterhin ist zu fragen, ob sich die Konzepte bzw. die aus ihnen abgeleiteten Hypothesen in empirischen Untersuchungen bewährt haben oder nicht.
- **Sachlogische Angemessenheit:** Sind die vorgelegten Konzepte sachlogisch angemessen? Widersprechen sie u.U. physiologischen Grundlagen oder strukturwissenschaftlichen bzw. systemtheoretischen Erkenntnissen? Basieren diese Konzepte auf einem angemessenen Menschenbild?
- **Erkenntnistheoretische Haltbarkeit:** Sind die vorgelegten Konzepte erkenntnistheoretisch haltbar? Um welche Art wissenschaftlicher Aussagen handelt es sich? Sind sie überhaupt prüfbar?
- **Praktische Brauchbarkeit:** Ein weiteres Kriterium ist die praktische Relevanz der vorgelegten Konzepte. Ergeben sich wichtige neue Perspektiven für die praktische Arbeit im Sport?

2. Was bedeutet "Bewegung des Menschen"?

2.1 Bewegung als Ortsveränderung

Die mechanische Definition von "Bewegung" ist "Ortsveränderung". Diese Ortsveränderung kann Körperteile oder den gesamten Körper des Menschen betreffen und sich als Translation oder fortschreitende Bewegung und Rotation oder Drehbewegung äußern.

Beschränkt man sich auf diese Sicht, dann reduziert sich der Mensch auf ein relativ kompliziertes physikalisches Körpersystem, das nach mechanischen Aspekten (vor allem Kinematik und Kinetik) beschrieben und analysiert werden kann. So würde sich z.B. eine Abprungbewegung aus dem Anlauf auf die Erzeugung entsprechender Rotations- und Translationsimpulse reduzieren. Eine konsequente Orientierung an diesem Bewegungsverständnis führt z.B. zu einem Konzept der Technikanalyse bzw. Sollwert-Ansteuerung, in dem ausschließlich biomechanisch definierte Größen im Mittelpunkt der Forschungs- und Interventionsbemühungen stehen (z.B. BALLREICH 1988, 14-30).

Diese Sichtweise ist logisch konsistent, erkenntnistheoretisch haltbar und für den praktischen Umgang mit Sportbewegungen eine unverzichtbare, aber nicht hinreichende Voraussetzung (vgl. z. B. KASSAT 1993); für das Verständnis der Bewegungen des Menschen und die praktische Anwendbarkeit bedeutet diese Perspektive allerdings eine zu starke Verkürzung. Die Natur der diese extern biomechanisch fassbaren Produkte begleitenden internen Prozesse, die in sportmotorischen Lehr-Lern-Prozessen beeinflusst werden sollen, wird dabei zu stark vernachlässigt.

2.2 Bewegung als Folge von Muskelaktionen

Bewegungen von Tieren und Menschen werden durch Muskelaktionen verursacht. Insbesondere die Vertreter des Informationsverarbeitungsansatzes (z.B. SCHMIDT 1988²) interpretieren Bewegungen als Folge von Muskelaktionen.

Folgt man dieser Kennzeichnung von Bewegung, so muß man nach der Instanz fragen, die die Muskelaktionen kontrolliert. Auf der physiologischen Ebene sind Nervenzellen als Kontrollinstanzen zu nennen. Als Instanzen werden in der Motorikforschung unter anderem interne Repräsentationen wie "motorische Programme", "Generalisierte Motorische Programme" oder "Generative Strukturen" vorgeschlagen. Es ergeben sich allerdings gravierende Probleme dieser später genauer zu analysierenden Konzepte:

- Die vorgeschlagenen Konzepte orientieren sich sehr stark an der *Analogie zum seriellen Computer und der Programm-Metapher*. Diese Orientierung ist in mehrfacher Hinsicht problematisch:

NEUMANN (1985, 17-21) nennt drei Voraussetzungen für die Legitimierung einer Analogie-Übertragung: gleiche Anforderungen, Existenz bestimmter optimaler Lösungen und Existenz physischer Bedingungen für die Bildung analoger Formen. Er sieht alle drei Kriterien für den Vergleich zwischen Mensch und Computer nicht erfüllt.

Das menschliche Gehirn unterscheidet sich von einem Computer unter anderem dadurch, daß es Informationen parallel verarbeitet, eine relativ geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit aufweist, über erregende und hemmende Synapsen verfügt, hochgradig vernetzt ist und ständig spontan aktiv ist; es arbeitet also nach anderen Funktionsprinzipien, so daß die Computer-Metapher ein unzulässiger Reduktionismus ist. Das Gehirn ist eher ein sensomotorisches Assoziationsorgan als ein Prozessor mit Input und Output.

- *Wer kontrolliert diese Instanzen?*

Die Erstellung eines motorischen Programms erfordert - wenn man die Metapher als Realität nimmt - einen intelligenten Programmierer mit Vorwissen ("Homunkulus-Problem"; z.B. TURVEY/KUGLER 1984, 391f.) oder muß zumindest lerntheoretisch - durch Angabe des entsprechenden Mechanismus - präzisiert werden. Wenn man allerdings einmal nach einer übergeordneten Kontrolle in Gestalt eines Homunkulus zu fragen begonnen hat, dann stellt sich im unendlichen Regreß die Frage, welcher übergeordnete Homunkulus den untergeordneten Homunkulus kontrolliert usw.

Diese beiden Probleme sind allerdings als Scheinprobleme einzustufen, da man hier ein Modell oder eine Metapher ontologisiert oder - anders formuliert - absichtlich aus dem Sprachspiel ausbricht.

- Die *Umwelt-Bedingungen*, unter deren Einfluß Bewegungen ausgeführt werden, werden kaum explizit berücksichtigt. Eine Ausnahme stellt hier das Masse-Feder-Modell dar.

Die logische Konsistenz, die erkenntnistheoretische Haltbarkeit und die sachlogische Angemessenheit sind bei diesen Konzepten nicht gegeben. Einige Konzepte haben zwar zahlreiche empirische Untersuchungen angeregt, sich aber im Rahmen dieser Untersuchungen nicht bewährt. Ihre praktische Brauchbarkeit ist dementsprechend eingeschränkt.

2.3 Bewegung als aufgabenbezogene Person-Umwelt-Interaktion

Dieser Auffassung von Bewegung als Folge von Muskelaktionen setzen die Vertreter des ökologischen Realismus eine andere Interpretation entgegen. Im Sport befindet sich der Mensch in Interaktion mit der Umwelt. Er will in der Regel unter bestimmten Umwelt-Rahmenbedingungen eine spezifische Aufgabe lösen, z.B. einen Basketball in den Korb werfen oder ein Sportgerät überspringen. Bewegungen des Menschen finden also im Spannungsfeld Aufgabe-Person-Umwelt statt (z.B. BEEK 1989; NITSCH 1985; TURVEY/KUGLER 1984; TURVEY 1990). Diese *aufgabenbezogene Person-Umwelt-Interaktion* ist immer motivational und emotional geprägt. So kann bei einem Korbwurf die Hoffnung auf Erfolg oder die Furcht vor Mißerfolg im Vordergrund stehen. Beim Sprung über den Kasten kann das lustvolle Erleben des Fluges oder die Vermeidung von Schmerz, Blamage oder Verletzung primäres Ziel sein. Bewegungen in diesem Sinne können verschiedene individuelle und ökologische Bedeutungen aufweisen (z.B. GRUPE 1976; REED 1988), z.B. instrumentelle, explorierend-erkundende, soziale oder personale Bedeutung.

Ein derartiges Verständnis von Bewegung berücksichtigt auch, daß die Umwelt durch ihre charakteristischen Eigenschaften die Bewegung erst ermöglicht und Wahrnehmungseigenschaften sich erst im bewegenden Zugriff konstituieren (z.B. ENNENBACH 1989; 1991²; SCHERER 1993). Die Festigkeit der Erdoberfläche ermöglicht das Springen oder Laufen, und die Beschaffenheit von Sportgeräten (z.B. Elastizität der Reckstange oder Kanten der Ski) ermöglicht sportartspezifische Bewegungen. Der Mensch-Umwelt-Zusammenhang ist also unauflöslich. Bewegungen wirken auf die Umwelt, die gleichzeitig spezifische Bewegungen erfordert oder ermöglicht und auf die Bewegung zurückwirkt. Ursache und Wirkung lassen sich also nicht ausmachen. Bewegungen sind ein dynamisches Wechselspiel, das sich erst im unmittelbaren Zugriff entfaltet (auch CHRISTIAN 1963). Dabei ist es das primäre Ziel des ökologischen Realismus, einfache, quasi-physikalische Gesetzmäßigkeiten dieses Wechselspiels zu erforschen (vgl. z.B. KUGLER/ SHAW/ VICENTE/ KINSELLA-SHAW 1989; TURVEY 1990; 1991). Emotionale und motivationale Faktoren werden durch den ökologischen Realismus nicht berücksichtigt.

Die Bewegung des Menschen muß also als individuelle aufgabenbezogene Person-Umwelt-Interaktion interpretiert werden, die motivational und emotional geprägt ist und sich ständig dynamisch verändert.

Diese offene Definition betrachtet Bewegung aus funktionaler Sicht, d.h. aus der Perspektive der sachbezogenen, motivationalen und emotionalen Relevanz für ein Individuum. Sie hat damit ein angemessenes Menschenbild als Grundlage (vgl. z.B. GROEBEN 1986). Gerade darin zeigt sich die praktische Bedeutung dieser Definition. Allerdings stellt diese Definition hohe Ansprüche an empirische Untersuchungen, da all diese Aspekte berücksichtigt werden müssen.

3. Was ist und wie funktioniert die Kontrolle von Bewegungen?

Unter "Bewegungskontrolle" versteht man die Prozesse und Strukturen, die der Ausführung von Bewegungen generell zugrundeliegen. Mit SCHMIDT (1988²) und SINGER (1990, 116f.) wird also - wie bereits erwähnt - Bewegungskontrolle als Oberbegriff benutzt, der auch Bewegungslernen einschließt (s. Abb. 1). Dabei ergibt sich das Problem, welches Kriterium Bewegungslernen und "restliche" Bewegungskontrolle valide trennt. Befindet sich ein Tennisspieler noch im Bewegungslernprozess oder bereits im Zustand der Bewegungskompetenz, wenn er bereits in der Lage ist, Aufschläge ständig korrekt in das entsprechende Aufschlagfeld zu platzieren? Muß eine genauere Platzierung gefordert werden? Muß der Aufschlag bei jeder Bewegungsausführung korrekt sein oder dürfen vereinzelt "zufällige" Fehler auftreten? Hier scheinen die Übergänge fließend zu sein. Als entscheidender pragmatischer Gesichtspunkt für die Auswahl des Kriteriums erscheint der Kontext, für den Bewegungskompetenz festgestellt werden soll. Die Kriterien der Bewegungskompetenz dürften z.B. für den Schul- und Breitensport anders bestimmt werden als für den Leistungssport. Natürlich muß bei Erreichen bzw. Überschreiten des Kompetenzkriteriums der Bewegungslernprozess nicht abgeschlossen sein.

Wie die Funktionen der Bewegungskontrolle modelliert werden, ist abhängig davon, wie "Bewegung" definiert wird. Hier bestehen - wie bereits erwähnt - grundlegende Differenzen zwischen den Vertretern des "motor approach" und des "action approach" (zur Gegenüberstellung des zentralen Annahmen dieser Ansätze vgl. MEIJER/ROTH 1988; WIEMEYER 1993 b). Für die Bewegungskontrolle stellen sich eine Reihe von Problemen, die von den einzelnen Ansätzen unterschiedlich angegangen werden:

- das Freiheitsgrad-Problem,
- das Problem der Konstanz und Variabilität von Bewegungen,
- das Äquivalenz-Problem und
- das Indeterminiertheitsproblem.

3.1 Die Freiheitsgrade von Bewegungen - Problem oder Segen?

Welche Freiheitsgrade müssen bei den Bewegungen des Menschen kontrolliert werden? Wenn man - wie bereits erwähnt - Bewegungen als Folge von Muskelaktionen interpretiert, dann ergeben sich die folgenden Überlegungen: Muskelaktivitäten bedingen die Gelenkbewegungen und damit Ortsveränderungen von Körperteilen und Körper. Diese Muskelaktivitäten werden letztlich durch neuronale Prozesse reguliert. Damit ergeben sich anatomische und neurophysiologische Freiheitsgrade (vgl. TURVEY 1990, 938; BRAITENBERG/SCHÜTZ 1989):

- Gelenke: ca. 10^2 Freiheitsgrade,
- Muskeln: ca. 10^3 einzelne Muskeln und
- Neuronen: ca. 10^{14} kortikale Neuronen mit ca. 8000 Synapsen pro Neuron.

Es stellt sich die Frage, wie diese große Anzahl von Freiheitsgraden kontrolliert wird. Vertreter des "motor approach" nehmen an, daß interne Bewegungsrepräsentationen diese Kontrolle ausüben. Die entsprechenden Konzepte orientieren sich - wie bereits erwähnt - stark an der Analogie eines seriellen Computers. Man geht davon aus, daß ein zentraler Prozessor einen exakten zeitlich-dynamischen Einsatzplan für jeden Muskel generiert, der dann in die Peripherie "abgeschickt" wird (zentrale "top-down"-Kontrolle).

SPECTRUM 1994 / 1

Zur Art und Struktur dieser Einsatzpläne gibt es unterschiedliche Konzepte:

- *Motorisches Programm*: KEELE (1968, 387) definiert ein motorisches Programm als "set of muscle commands that are structured before a movement sequence begins, and that allows the entire sequence to be carried out uninfluenced by peripheral feedback". Dieses Konzept ist relativ starr, sehr "speicheraufwendig" und kann das Neuigkeits-Problem nicht lösen.
 - *Generalisiertes Motorisches Programm (GMP)*: Ein GMP ist eine abstrakte Gedächtnisrepräsentation, die ein "Impuls-Timing-Muster" generieren kann. Das GMP bestimmt über Aktivierungszeitpunkt, Aktivierungsdauer und Aktivierungsintensität der Muskeln letztlich ihre Kräfte über die Zeit, d.h. *Muskelimpulse* (SCHMIDT 1988², 242; ROTH 1989, 28; zum Problem zwei verschiedener Impuls-Begriffe vgl. WIEMEYER 1992 a, 7). Das Gesamtmuster der Muskelimpulse macht dementsprechend die Bewegungsfer-tigkeit aus. Das GMP wird also über sein Produkt oder seine Leistung, ein Impuls-Timing-Muster, spezifiziert. Ein für eine bestimmte Bewegungsfertigkeit charakteristisches Impuls-Timing-Muster ist gekennzeichnet durch drei *Invarianten* ("Sequencing", d.h. Reihenfolge der Muskelaktivierung und Verhältnis der zeitlichen Abstände; relatives Timing bzw. "phasing", d.h. auf die Gesamtbewegungszeit bezogene Aktivierungsdauer der einzelnen Muskeln; relative Kräfte, d.h. auf den Gesamtkraftsatz bezogene Kraft-Maxima der einzelnen Muskeln) und drei *Variablen* bzw. *Programmparametern* (Bewegungs-dauer, Gesamtkraftsatz und Muskelauswahl; SCHMIDT 1988², 243-255; nur zwei Variablen vgl. ROTH 1989, 29; 1990, 12).
- Ein GMP enthält also primär *quantitative* Aspekte, während qualitative Aspekte kaum berücksichtigt sind.

Auch dieses Konzept ist durch primäre Orientierung an metrischen Varianten relativ starr und nicht generell verwendbar (z.B. WIEMEYER 1992 a). Es wirft neben logischen Widersprüchen auch erkenntnistheoretische Probleme auf. Handelt es sich beim GMP um eine Kontext- oder operationale Definition? Diese beiden Definitionstypen werden von GMP-Vertretern vermischt.

- *Generative Strukturen*: HEUER (1988) bemüht sich, die Idee eines GMPs beizubehalten - allerdings unter Rücknahme der engen Beschränkungen. Die Einführung generativer Strukturen soll es erlauben, das relative Timing und andere von SCHMIDT geforderte Invarianten unter der Kontrolle des GMPs - allerdings unter Einfluß endogener, räumlich-zeitlicher und peripherer Rahmenbedingungen - mehr oder weniger kontinuierlich zu ändern. Das Invarianz-Konzept als Kern des GMP von SCHMIDT wird also aufgegeben und damit eine weitere "Öffnung" der Kategorie ermöglicht. Hier stellt sich die Frage, nach welchem Kriterium entschieden werden kann, ob zwei Bewegungen durch ein GMP kontrolliert werden. Der entsprechende Nachweis soll durch ein *Nacheffekt-Paradigma* erfolgen, dessen Logik darin besteht, daß sich bei der aufeinanderfolgenden Realisation von zwei Bewegungen systematische Nacheffekte der ersten Bewegungsrealisation zeigen sollten, wenn diese Bewegungen durch ein GMP kontrolliert werden. Wenn sich keine systematischen Nacheffekte zeigen, dann werden die beiden Bewegungen von zwei unabhängigen GMPen kontrolliert. Dieser Schluß von Nacheffekten auf die zentrale Kontrollstruktur erscheint jedoch nicht zwingend. Nacheffekte können in Abhängigkeit von den experimentellen Bedingungen (Aufgabe, Versuchspersonen,

Situation) auch andere Ursachen (z.B. GMP-unabhängige Vergessensprozesse, Veränderungen in der Peripherie) haben. Das Konzept generativer Strukturen erscheint wenig fruchtbar, da es unklar bleibt und keine konkreten Aspekte liefert.

- *Modell der inversen Körper-Transformationen*: HEUER (1983) nimmt an, daß im Verlaufe des Bewegungslemlprozesses inverse Transformationsregeln erworben werden, mit deren Hilfe eine Bewegungsabsicht in entsprechende Muskelaktivitäten übersetzt wird. Diese Transformationsregeln werfen das Problem des Kategoriefählers auf, d.h. die Unmöglichkeit, zwischen zwei in sich abgeschlossenen Bereichen (psychologische und physiologische Prozesse) kausale Beziehungen herzustellen (LAUKEN 1989).
 - *Motorikschemata*: MUNZERT (1989) entwickelt das Konzept des Motorikschemas. Dieses Motorikschemata ist durch qualitative Invarianten gekennzeichnet und erlaubt sowohl qualitative als auch quantitativ-metrische Variationen der Bewegung.
 - Durch experimentelle Untersuchungen an unter qualitativen Aspekten ähnlichen und unähnlichen Auge-Hand-Koordinationsaufgaben (fünf serielle Tastendruckbewegungen) belegt MUNZERT (1989), daß ein Motorikschemata auch qualitative Bewegungsvarianten ermöglicht.
 - *Äquilibriumpunkte*: Zwei konkurrierende Modelle (α -Modell und λ -Modell; vgl. FELDMAN 1986; kritisch zu dieser Unterscheidung vgl. BIZZI/ HOGAN/ MUSSA-IVALDI/ GISZTER 1992) gehen davon aus, daß Muskeln ein kompliziertes Masse-Feder-System darstellen und Muskelaktivitäten über die Festlegung von Äquilibriumpunkten kontrolliert werden. Ein Gelenk (z.B. Ellbogengelenk) nimmt in Abhängigkeit von der Last einen bestimmten Gelenkwinkel ein, der durch ein "Gleichgewicht" zwischen Agonisten, Antagonisten und Last (*Äquilibriumpunkt*) bestimmt ist. Jede Bewegung wird durch eine Veränderung dieses Äquilibriumpunktes verursacht.
 - Diese Modelle können experimentelle Ergebnisse zur unvorhergesehenen Veränderung von Massenträgheitseigenschaften bei ballistischen Bewegungen erklären, die durch das Impuls-Timing-Modell nicht erklärbar sind (vgl. WIEMEYER 1992 a). Allerdings scheinen diese Modelle keine generelle Gültigkeit zu haben.
- Diese Konzepte einer hierarchischen "top-down"-Bewegungskontrolle der Freiheitsgrade werfen eine Reihe von allgemeinen Problemen auf:
- SCHÖNER/ HAKEN/ KELSO (1988, 1513) merken an, daß es weder möglich noch sinnvoll ist, jeden Freiheitsgrad spezifisch zu kontrollieren.
 - Derartige Konzepte gehen von der Voraussetzung aus, daß jeder Freiheitsgrad *isoliert* kontrolliert werden muß. Es zeigt sich aber, daß diese Annahme falsch ist. Das sensorische System nutzt nur einen kleinen Bereich des durch die verschiedenen Freiheitsgrade aufgespannten Arbeitsraumes aus. Dabei werden Freiheitsgrade zum Teil systematisch durch Koppelungen verschiedener Gelenke und Muskeln reduziert. Die biomechanisch bestimmbaren Freiheitsgrade sind also von den real durch das sensorische System kontrollierten Freiheitsgraden zu unterscheiden (vgl. auch KÖRNDLE 1992, 5).
 - Das Äquivalenz-Problem soll später besprochen werden.
 - Das Problem der Indeterminiertheit zentraler Impulse soll ebenfalls in einem eigenen Abschnitt besprochen werden.

Zusammenfassend kann man also feststellen, daß Repräsentationskonzepte häufig logische Widersprüche aufweisen, sachlogisch unangemessen und erkenntnistheoretisch unhaltbar sind.

Vertreter des ökologischen Realismus sehen nicht die Notwendigkeit, a priori zentrale Bewegungsrepräsentationen einzuführen. Sie analysieren vielmehr zunächst die Rahmenbedingungen ("constraints"), die durch Aufgabe, Person und Umwelt die Bewegungsrealisation beeinflussen oder einschränken.

Wie werden Bewegungen innerhalb eines durch diese Rahmenbedingungen aufgespannten Arbeitsraumes reguliert?

TURVEY (1977) geht von einer Hierarchie aus. Die verschiedenen an der Bewegungskontrolle beteiligten Instanzen haben eine relative Autonomie. Das "executive system" generiert lediglich einen groben "action plan". Im weiteren Verlauf der Bewegungskontrolle werden "coordinative structures" (vorabgestimmt und aktiviert. Neurophysiologisch sind koordinative Strukturen komplexe, flexible aufgabenspezifische funktionelle Organisationen von Reflexen (TURVEY 1977, 220; 1990, 940; KUGLER/ KELSO/ TURVEY 1980, 3). In Termini der nicht-linearen Dynamik sind koordinative Strukturen Prozesse der Bildung und des Verschwindens dynamischer Attraktor- und Äquilibriumregionen im Zustandsraum des Systems (NEWELL/ KUGLER/ VAN EMMERIK/ MAC DONALD 1989, 88).

TURVEY (1977) prägt das Konzept des "executive ignorance", d.h. der relativen Unwissenheit des Ausführungssystems um den Zustand der Peripherie.

Nach NEWELL/ KUGLER/ VAN EMMERIK/ MAC DONALD (1989) werden unter dem Aspekt der Funktion "coordination modes", d.h. emergente, äußerlich sichtbare Bewegungsmuster, realisiert. Diese Oberflächenstrukturen werden durch koordinative Strukturen erzeugt.

KUGLER/ SHAW/ VICENTE/ KINSELLA-SHAW (1989) und KELSO (1984) greifen zur Erklärung der Bewegungskontrolle auf Konzepte der Selbstorganisation zurück (zum Konzept der Synergetik vgl. HAKEN 1990³).

Die Vorgehensweise ökologischer Ansätze erscheint insgesamt angemessener. Sie hat sich in ausgewählten empirischen Untersuchungen bewährt und führt zu einem Umdenken im praktischen Umgang mit der Bewegungskontrolle. Zunächst müssen die relevanten Freiheitsgrade und Rahmenbedingungen bestimmt werden, um auf Kontrollprozesse effektiv einwirken zu können.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich:

- Freiheitsgrade der Bewegungskontrolle können nicht a priori "bottom-up" bestimmt werden, sondern das aufgabenbezogene dynamische Systemverhalten muß beobachtet werden, um a posteriori die relevanten Freiheitsgrade zu bestimmen (auch JEKA/ KELSO 1989). Man kann lediglich durch eine a priori durchgeführte Analyse die Grenzen eines Zustandsraumes bestimmen, innerhalb dessen gültige Aufgabenlösungen liegen müssen (z.B. BEEK 1989).
- Freiheitsgrade sind nicht ein Problem, sondern ein Segen (auch TURVEY 1990). Durch die große Anzahl von Freiheitsgraden werden mehrere und flexible Lösungen erst möglich. Es gibt also nicht *die* Lösung einer Bewegungsaufgabe, sondern immer mehrere mögliche Lösungsverfahren (Techniken).

3.2 Konstanz und Variabilität

Die Sportbewegungen des Menschen weisen zwei charakteristische Merkmale auf (z.B. BERNSTEIN 1966/1987, 225-228; ZIMMER/KÖRNDLE 1988, 87):

- Sie zeigen einerseits *konstante* - vor allem qualitativ-topologische - äußere Merkmale, die sie als Mitglied einer bestimmten Bewegungsklasse (z.B. Fangen, Werfen, Schlagen, Laufen) ausweisen. Diese konstanten äußeren Merkmale können allerdings aus unterschiedlichen internen Prozessen resultieren (Äquivalenzproblem).
- Bewegungen zeigen aber trotz bestimmter konstanter Merkmale bei jeder Bewegungsausführung aufgrund der zahlreichen Freiheitsgrade (BERNSTEIN-Problem) im inter- und intraindividuellen Vergleich immer auch *variable* - vor allem quantitativ-metrische - äußere Merkmale (z.B. HATZE 1986; GENTNER 1987). Bei genauer Betrachtung sind also zwei Bewegungen niemals absolut gleich. Dieses Problem hat eine fraktale Dimension (vgl. CRAMER 1993; BRIGGS/PEAT 1993).

Bewegungen zeigen also immer eine gewisse Variabilität. Die Vertreter des Informationsverarbeitungsansatzes berücksichtigen diese Tatsache durch Annahme von "Rauschen" im sensomotorischen System (z.B. SHERWOOD 1986; HEUER 1988).

Vertreter des ökologischen Realismus differenzieren zwischen Konstanz und Variabilität von Bewegung und den die Bewegung produzierenden Prozessen. Sie nehmen an, daß Konstanz und Variabilität von Bewegungen von mehr oder weniger ausgeprägten ständigen Fluktuationen im sensomotorischen System begleitet sind. Dabei werden sensomotorische Prozesse als dissipative Prozesse interpretiert, d.h. als Prozesse in einem offenen System, das ständig Energie mit der Umwelt austauscht und weit entfernt ist von einem Gleichgewichtszustand. In Abhängigkeit davon, wie weit das System entfernt ist von einem Attraktor, zeigt es mehr oder weniger starke Fluktuationen (z.B. HAKEN 1990³). Variabilität ist also geradezu ein Kennzeichen der von dissipativen Systemen erzeugten Bewegungen. Diese Sichtweise erscheint dem Problem der Konstanz und Variabilität angemessener zu sein und muß zu einer Neuinterpretation vorliegender empirischer Befunde der Motorikforschung im Rahmen von Selbstorganisationsansätzen (z.B. Synergetik, Chaostheorie) führen.

3.3 Das Äquivalenz-Problem

Gleiche oder ähnliche kinematische Prozesse können durch sehr unterschiedliche interne (biomechanische, physiologische und psychologische) Prozesse verursacht werden. Damit ist in einer "bottom-up"-Analyse keine eindeutige Zuordnung von einer spezifischen Kinematik und den internen Prozessen möglich. Die Suche nach inversen Transformationen (z.B. HEUER 1983) kann also prinzipiell kein eindeutiges Resultat ergeben.

Damit stellt sich die Frage, nach welchen Kriterien das sensomotorische System die zu einer bestimmten Kinematik führenden Prozesse auswählt. Ein plausibles und vor allem für biologische Systeme relevantes Prinzip ist das *Ökonomie-Prinzip*. Im Sinne der Ökonomie ist es wichtig, daß ein Organismus möglichst wenig Energie beim Bewegen verbraucht. Eine mögliche Strategie, die diesem Prinzip entsprechen könnte, wird durch die später zu diskutierende BERNSTEINsche Koordinationstheorie spezifiziert.

Das Äquivalenzproblem entsteht also aus einer falschen Problemsicht, da man von der Kinematik unmittelbar auf die "dahinterliegende" Kontrollinstanz schließen will. Wie die

Überlegungen des vorhergehenden Abschnittes zeigen, ist die Kinematik aber austauschbar, entscheidend ist lediglich die Funktion oder das Ziel von Bewegungen.

3.4 Das Indeterminiertheitsproblem

Bezogen auf die zentrale "top-down"-Kontrolle zeigt sich, daß auch die Richtung vom Zentrum zur Peripherie nicht eindeutig ist. Identische zentrale Impulse können sehr unterschiedliche periphere Effekte haben (z.B. BERNSTEIN 1940/1984, 213-217; 1988², 58-61). Für diese Indeterminiertheit nennt BERNSTEIN verschiedene anatomische, biomechanische und physiologische Ursachen.

SCHMIDT (1985) sieht dieses Problem und entschärft es durch die Annahme, daß die Beziehung zwischen dem peripheren Ausgangszustand und dem zentralen Impuls im Gedächtnis repräsentiert sei. Er macht keine Angaben dazu, wie eine derartige Repräsentation aussehen könnte.

Vertreter des ökologischen Realismus nehmen - wie bereits erwähnt - eine hierarchische Kontrolle und Selbstorganisationsprozesse, und damit eine relative Autonomie der Peripherie an. Wie die tatsächlich realisierte Bewegung exakt verläuft, wird also - wie bereits erwähnt - nicht zentral "entschieden".

Auch dieses Problem entsteht erst durch eine unangemessene Sichtweise, nämlich die Annahme hierarchisch organisierter zentraler Kontrolle. Wenn man sich von dieser Vorstellung löst, wie es Vertreter des ökologischen Ansatzes tun, löst sich das Problem von selbst, da zentral lediglich ein Ziel oder eine Funktion von Bewegungen festgelegt wird und die genaue Art der Zielerreichung durch hierarchisch organisierte sensomotorische Regulationsprozesse kontrolliert wird.

4. Was bedeutet und wie funktioniert das Bewegungsklernen des Menschen?

4.1 Lernen als relativ überdauernde erfahrungsbedingte Verhaltensänderung?

"Lernen" wird häufig als *relativ überdauernde erfahrungsbedingte Verhaltensänderung* des Menschen definiert (z.B. MECHLING 1986 b, 12). Als operationale Definition ist diese Kennzeichnung akzeptabel. Für empirische Lern-Untersuchungen kann Lernen als hypothetisches Konstrukt natürlich über manifeste und damit beobachtbare Verhaltensänderungen als Außenkriterium operationalisiert werden. Eine Kontextdefinition von Lernen (zur Unterscheidung zwischen operationaler und Kontextdefinition vgl. z.B. BREUER 1989⁴, 111-119) muß allerdings auch berücksichtigen, daß Lernen und beobachtbare Verhaltensänderung zu unterscheiden sind. Aus unterschiedlichen Gründen (z.B. Motivation, Ermüdung) kann sich aktuell keine Verhaltensänderung zeigen und doch gelehrt worden sein. Eine Kontextdefinition von Lernen muß also auch die Veränderung von Verhaltensmöglichkeiten einbeziehen (z.B. EBERSPÄCHER 1987, 247; ZIMMERMANN/KAUL 1990, 10; MECHLING 1992 a, 284) und auf hypothetische Prozesse Bezug nehmen, die diesen Veränderungen zugrundeliegen könnten (z.B. Bildung von Motorik- oder internen Bewegungsrepräsentationen, vgl. MECHLING 1992 b; MUNZERT 1992; WIEMEYER 1993 b).

Ein weiteres zentrales Problem ist die Operationalisierung von "relativ überdauernd". Zielrichtung der Aufnahme dieses Merkmals in die Definition ist der Ausschluß vorüberge-

hender, nicht für das "eigentliche Lernen" relevanter Effekte (z.B. SALMONI/ SCHMIDT/ WALTER 1984). Diese Effekte haben sich in einer Reihe von Untersuchungen gezeigt:

- SCHMIDT (1988², 359) berichtet über eine Untersuchung zum massierten versus verteilten Üben an der Bachman-Leiter, in der die verteilt übende Gruppe zwar in der Aneignungsphase der massiert übenden Gruppe signifikant überlegen war. Nach einer Pause von vier Minuten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen.
- Befunde zum "contextual interference"-Paradigma zeigen divergierende kurz- versus mittelfristige Effekte: Bei hoher Kontext-Interferenz (randomisierte Übungsreihenfolge) sind reduzierte Aneignungs- und verbesserte Lernleistungen nachweisbar (z.B. SHEA/ MORGAN 1979; zu den verschiedenen Hypothesen zur Erklärung dieses Phänomens vgl. WULF 1992).
- Bei einer Reduktion der relativen Häufigkeit externer Rückmeldungen lassen sich ebenfalls - allerdings nicht durchgängig - divergierende kurz- versus mittelfristige Effekte im Sinne reduzierter Aneignungs- und verbesserter Lernleistungen nachweisen (Übersicht vgl. SCHMIDT 1991; zur Differenzierung von Häufigkeit und Verteilung vgl. MARSCHALL 1992; Belege gegen die Gültigkeit beim Modelllernen vgl. BLISCHKE/ MARSCHALL/ MÜLLER/ DAUGS 1993).

Wann sind Lerneffekte überdauernd? Müssen Minuten, Stunden, Tage, Monate oder sogar Jahre vergehen, um von relativ überdauernden Gedächtniseffekten zu sprechen? Hier fehlt z.Zt. eine exakte theoriegeleitete Systematisierung.

Aus pragmatischen Gründen wird hier dafür plädiert, in empirischen Untersuchungen Retentionsintervalle zu wählen, die typischerweise in den Bereichen vorkommen, für die Aussagen getroffen werden sollen. Dies bedeutet z.B. für den Sportunterricht Retentionsintervalle von mehreren Tagen bis zu einer Woche, während für das Hochleistungstraining wenige Minuten bis Tage relevant sind.

Die Definition von Lernen als Verhaltensänderung ist also durchaus logisch konsistent, aber die empirische Umsetzbarkeit, die erkenntnistheoretische Haltbarkeit, die sachlogische Angemessenheit und die praktische Brauchbarkeit sind fraglich.

4.2 Bewegungslernen - Neubildung und kontinuierliche Konsolidierung von internen Bewegungsrepräsentationen?

Entsprechend den Ergebnissen des vorhergehenden Abschnitts kann Bewegungslernen im Sport definiert werden als "Gesamtheit der Gedächtnisprozesse, die dem prozeduralen Erwerb der Fähigkeit zugrundeliegen, Bewegungsaufgaben im Sport auf der Grundlage individueller Voraussetzungen anforderungsgerecht und situationsadäquat zu lösen" (WIEMEYER 1993 a, 187; vgl. auch MECHLING 1992 b). Motorisches Lernen führt also zu Veränderungen interner Gedächtnisrepräsentationen, die als hypothetische Konstrukte vor allem durch Informationsverarbeitungsansätze thematisiert werden. Hier sollen zwei Aspekte kritisch diskutiert werden:

- die "Lernkurve" als allgemein übliche Art der Darstellung von Lernprozessen bzw. ihrer Ergebnisse und
- Konzepte zur zeitlichen Dynamik sensorischer Gedächtnisprozesse.

4.2.1 Lernkurve als Leistungskurve - ein Artefakt?

In den Lernexperimenten der Motorikforschung werden Leistungsmaße über die Zeit als *Lernkurve* abgebildet. In der Regel bezieht sich die Darstellung auf Fehlermaße (absoluter, konstanter, variabler oder RMS-Fehler). Die Fehlermaße nehmen im Lernprozessverlauf in der Regel hyperbolisch, d.h. mit negativ beschleunigter Tendenz, ab. Diese Art der Darstellung von Lernprozessen ist nicht unproblematisch:

- Die Lernkurve ist eine Leistungskurve.
- Sie stellt lediglich die aktuelle, möglicherweise von vorübergehenden Faktoren beeinflusste Leistung dar. Lernen und Leistung müssen also unterschieden werden.
- Dabei müssen nach MECHLING (1986 b, 12; 1992 a, 285) drei Voraussetzungen erfüllt sein, um Lernen und Leistung identifizieren zu können:
 - Es muß sich um eine zeitbezogene Leistungsverbesserung handeln.
 - Die Konstanz der Leistung muß zunehmen.
 - Die Leistungsverbesserung muß zeitlich überdauernd sein.

Die operationale Problematik der dritten Voraussetzung wurde bereits diskutiert. Auch die zweite Voraussetzung ist nicht unproblematisch. Wenn man sich an resultatsbezogenen Maßen orientiert (z.B. Weiten, Laufzeiten), dann kann man dieser Voraussetzung zustimmen. Wenn man aber analysiert, wie das sensorische System diese Resultatskonstanz erzielt, dann stellt man fest, daß in vielen Sportarten eine "Konstanz durch Variabilität" erzielt wird (Übersichten vgl. LOOSCH 1990; 1993). Entsprechende ältere Arbeiten der KLEMM-Schule (z.B. STIMPEL 1938; VOIGT 1938), aber auch neuere Arbeiten zu hochfrequenten, kleinamplitudigen Oszillationen im Rudern (DE MAREES o.J.), Radsport (DE MAREES 1989, 43) und alpinen Skilauf (NEUMAIER 1993) zeigen, daß die Ergebniskonstanz durch hohe Variabilität der Einzelprozesse und -aktivitäten ermöglicht wird. Wenn Leistungen stabil sind, bedeutet dies also nicht, daß auch die sensorischen Prozesse, die diese Leistung hervorgerufen haben, stabil sind (auch CHRISTIAN 1963, 21-23).

- Die Lernkurve entsteht durch kollektive Datenauswertung.
- Durch die Auswertung eines Kollektivs können nicht-kontinuierliche individuelle Lern- (Leistungs-)Entwicklungen (z.B. Lernplateaus, Leistungssprünge) verdeckt werden (vgl. z.B. ZIMMERMANN/ KAUL 1990, 37-42).
- Die *Lernkurve bezieht sich auf die Parametrisierung bereits beherrschter Bewegungen*. In der Mehrzahl der Experimente der Motorikforschung wird die genaue Parametrisierung von Bewegungen untersucht, die bereits ausgeführt werden können (z.B. eingelenkige Beuge- oder Streckbewegungen). Diese Art des sensorischen Lernens ist sicherlich für einen Teil des sportmotorischen Lernens relevant, insbesondere für spätere Lernphasen. Bei initialen Neulernprozessen steht allerdings häufig die erste erfolgreiche Lösung der Bewegungsaufgabe durch Herausbildung einer groben "Rahmenkoordination" im Vordergrund. Hier können auch nicht-lineare Verläufe, z.B. qualitative Sprünge, auftreten (z.B. LEIST/ LOIBL 1983; TURVEY 1991).

Der kontinuierliche Verlauf einer Lernkurve ist also an verschiedene Voraussetzungen gebunden und nicht als Regelfall des Lernens anzusehen. Insbesondere auf die *individuelle* Lernentwicklung bezogen scheint eine kontinuierlich verlaufende Lernkurve ein Spezialfall oder ein Artefakt zu sein.

4.2.2 Konzepte zur zeitlichen Dynamik des sensomotorischen Gedächtnisses

Welche Prozesse laufen im Gedächtnis ab, wenn Bewegungen gelernt werden? In der Motorikforschung wird zwischen einem sensomotorischen Kurz- und Langzeitgedächtnis unterschieden, wobei kein genaues theoriegeleitetes Abgrenzungskriterium existiert (z.B. DAUGS/BLISCHKE 1984; KUHN 1984).

Für das *sensomotorische Kurzzeitgedächtnis*, dessen Behaltensdauer im Sekundenbereich liegt, bestehen zwei Konzepte, die sich vor allem auf das Vergessen richten (vgl. KUHN 1984):

- *Spurenzerfallstheorie*: Diese Theorie geht davon aus, daß Gedächtnisspuren labil sind und allmählich zerfallen, wenn sie nicht - z.B. durch Üben - regelmäßig konsolidiert werden; dieser Spurenzerfall äußert sich in Vergessensphänomenen.
- *Interferenztheorie*: Diese Theorie geht davon aus, daß Gedächtnisspuren nicht spontan zerfallen, sondern durch konkurrierende Gedächtnisprozesse "überdeckt" werden. Eine Aktivierung der ursprünglichen Gedächtnisspur ist dann nicht mehr möglich.

Für eine manuelle Hebelpositionsreproduktionsaufgabe findet KUHN (1984) Hinweise sowohl für Spurenzerfalls- als auch Interferenzprozesse. Besonders störend wirkt sich eine kognitive Interferenz auf, was die Beteiligung bewußt-kognitiver bzw. sprachlicher Prozesse am sensomotorischen Kurzzeitgedächtnis nahelegt (auch DAUGS/BLISCHKE 1984).

Für das *sensomotorische Langzeitgedächtnis*, dessen Behaltensstabilität von wenigen Minuten bis zu Jahren reicht, existieren zahlreiche verschiedene Konzepte:

- *Aufbau und Stabilisierung interner Bewegungsrepräsentationen*
Hier wurden - wie bereits erwähnt - zahlreiche Konzepte entwickelt wie motorisches Programm (KEELE 1968), Generalisiertes Motorisches Programm (z.B. SCHMIDT 1985; 1988², 240-257), Wahrnehmungs- und Gedächtnisspuren (ADAMS 1971), Körper- und Werkzeugtransformationen (HEUER 1983), sensomotorische Konzeptualisierung (z.B. DAUGS/BLISCHKE 1984; BLISCHKE 1988) oder verschiedene Schemarepräsentationen (z.B. SCHMIDT 1975; MUNZERT 1989; ZIMMER/ KÖRNDE 1988; WULF 1989). Für alle diese Ansätze existieren empirische Belege, zum Teil aber auch widersprüchliche Befunde (zu den Schema-Modellen vgl. WIEMEYER 1992 b). Sie weisen teilweise erkenntnistheoretische Schwierigkeiten auf und sind unterschiedlich brauchbar.
- *Dynamische Veränderung der Kontrollstrategien des sensomotorischen Systems*
BERNSTEIN (1940/1984, 217f.; 1988², 61f.) geht in der nach ihm benannten *Koordinationshypothese* davon aus, daß das sensomotorische System zu Beginn des Lernprozesses die peripheren Freiheitsgrade von neu zu erlernenden Bewegungen aktiv blockiert, sie später freigibt und flexibel die intersegmentelle Dynamik ausnutzt (z.B. reaktive Kräfte oder Wechselwirkungsmomente).

SCHNEIDER (1989) zeigt mit Hilfe der inversen Dynamik, daß beim Erlernen einer manuellen Umkehrbewegung die kinetischen Verhältnisse sich trotz relativ konstanter Kinematik ständig dynamisch verändern. Allerdings werden diese Veränderungen lediglich innerhalb einer Übungseinheit, d.h. als kurzfristige Aneignungseffekte, gemessen. Es ist also nicht geklärt, ob diese Veränderungen tatsächlich überdauernd sind oder nur kurzfristig auftreten.

Zur Abwägung des praktischen Nutzens dieser Hypothese müßte erstens der Nachweis überdauernder Veränderungen erfolgen und zweitens die Natur dieses Phänomens aufgeklärt werden. Handelt es sich um autonome, nicht-bewußte oder bewußt unterstützbare Prozesse?

4.2.3 Suche in einem Wahrnehmungs-Bewegungsraum

Vertreter des ökologischen Realismus haben zwar noch keine systematischen Ansätze zum Lernen präsentiert. Allerdings finden sich vereinzelt Versuche, über die dem Lernen zugrundeliegenden Prozesse zu spekulieren.

BEEK (1989, 191-192) interpretiert z.B. das Jonglieren-Lernen als Timing-Problem; dem Lernenden muß es gelingen, durch seine aufgabenbezogene Person-Umwelt-Interaktionen den physikalischen Prinzipien zu gehorchen und adäquate Lösungen zu finden. Das Jonglieren-Lernen vollzieht sich nach BEEK in drei Phasen: Zunächst wird das Ziel, das zu Beginn relativ ungenau ist, zunehmend differenzierter, nachdem Mißerfolgsursachen entdeckt wurden. Später werden Bereiche bevorzugter Lösungen entdeckt, und die Variabilität der Aufgabenlösung wird reduziert. Ziel ist vor allem, rhythmisch konstant zu jonglieren. In der dritten Phase wird die Attraktor-Landschaft nahe den Regionen der Phasen-Koppelungen erforscht und die Variabilität kontrolliert. Die Hypothesen von BEEK zeigen deutlich bewußt-kognitive Aspekte (z.B. Entdecken von Fehlerquellen).

NEWELL/ KUGLER/ VAN EMMERIK/ MACDONALD (1989, 108-115) beschreiben verschiedene Suchstrategien (blinde, lokale oder nicht-lokale Suche) als erste heuristische Ansätze (vgl. auch BERNSTEIN 1988², 245; FOWLER/ TURVEY 1978, 21-24; PIJNING 1982). WHITING/ VOGT/ VEREIJKEN (1992, 91-94 und 104) interpretieren Lernen ebenfalls als *Entdecken durch Erforschen*. Dabei wird nicht nur gelehrt, welche Informationen für die Aufgabenlösung relevant sind, sondern auch, welche Informationen irrelevant sind. Lernen besteht also nicht in dem Erwerben *einer* adäquaten Aufgabenlösung, sondern im systematischen Erforschen der Gesetze, die in dem entsprechenden Arbeitsraum herrschen. Am Beispiel einer Lernaufgabe am Ski-Simulator verdeutlichen WHITING/ VOGT/ VEREIJKEN (1992, 100-104), daß die Versuchspersonen im Verlaufe des Lernprozesses zunehmend in der Lage sind, die physikalischen Merkmale des Übungsgerätes auszunutzen. Dies zeigt sich am - wie bei BEEK (1989) - theoretisch aus der mechanischen Aufgabenanalyse abgeleiteten Parameter der Phasenverzögerung zwischen den Oszillationen der Plattform und des Körperschwerpunktes (KSP) der Lernenden, die zunächst negativ (die KSP-Oszillation eilt der Plattform-Oszillation voraus) sind und im weiteren Verlauf bei Verringerung der absoluten Werte positiv werden, d.h. die Oszillationen von KSP und Plattform werden zunehmend synchronisiert. VEREIJKEN (1991, 85) geht davon aus, daß Lernende zunächst die sehr eng durch den Simulator vorgegebene Dynamik erforschen müssen, bevor die Geräteeigenschaften entsprechend den Aufgaben-Bedingungen adäquat ausgenutzt werden können. Diese Sichtweise des Bewegungslernens als suchendes Forschen scheint problemangemessener. Erste empirische Befunde sind gut interpretierbar. Damit ergibt sich auch ein Umdenken im praktischen Umgang. Methodische Übungen zur

Vorbereitung sind als Hilfen zur Konstituierung eines Wahrnehmungs-Bewegungsraumes anzusehen und nicht auf einen irgendwie gearteten Zusammenhang mit der Ziellübung hin zu untersuchen.

4.3 Bedingungen des Bewegungslernens

Bewegungen und Bewegungslernen des Menschen finden - wie bereits mehrfach erwähnt - in einem Spannungsfeld von Aufgabe, Person und Umwelt statt (zu praktischen Konsequenzen vgl. auch WIEMEYER 1993 a; WIEMEYER/ SPIEGELBURG 1994). Dementsprechend lassen sich formal drei Bedingungsklassen unterscheiden (vgl. auch NITSCH 1985; GÖHNER 1987; TURVEY 1990):

- *Aufgabenbedingungen*: extern vorgegebenes, prozeß- oder produktbezogenes Bewegungsziel (Bewegungsaufgabe) und Regelbedingungen;
- *Personbedingungen*: unter anderem individuelle anthropometrische, konditionelle, koordinative, kognitive, motivationale und emotionale Voraussetzungen;
- *Umweltbedingungen*: unter anderem situative und Gerätebedingungen.

Diese Bedingungen sind nicht isolierbar. Die Gesamtheit der durch Aufgabe, Person und Umwelt vorgegebenen Rahmenbedingungen spannt den Arbeitsraum auf, innerhalb dessen Bewegungsaufgaben erfolgreich gelöst werden können. Dieser Arbeitsraum ist einerseits durch Aufgabe und Situation objektiv strukturiert, wird aber durch die jeweiligen personalen Bedingungen individualspezifisch konfiguriert.

BEEK (1989) analysiert dieses Bedingungsgefüge für das Jonglieren und findet *a priori* spezifische räumliche und zeitliche Grenzen, innerhalb derer sich die tatsächlich realisierten erfolgreichen Jonglierbewegungen befinden müssen. Er kann zeigen, daß dieser Arbeitsraum variabel ausgenutzt wird. Die Variabilität ist beim Jonglieren mit drei Bällen größer als beim Jonglieren mit fünf Bällen. Außerdem kann BEEK nachweisen, daß eine der beiden *a priori* diskutierten Strategien beim Jonglieren mit fünf Bällen tatsächlich eingesetzt wird.

4.4 Kognitive Anteile beim Bewegungslernen

Beim Bewegungslernen spielen kognitive Anteile eine wichtige Rolle (DAUGS/ BLISCHKE 1984, 381; MUNZERT 1992; WIEMEYER 1993 b). Kognitive Prozesse werden vor allem von Informationsverarbeitungsansätzen analysiert:

- Das Bewegungsgedächtnis ist semantisch organisiert (z.B. UNGERER/ DAUGS 1977⁴, 57; DAUGS/ BLISCHKE 1984; BLISCHKE 1988). Bedeutungsaspekte spielen eine zentrale Rolle bei Speicher- und Abrufprozessen im Bewegungsgedächtnis.
- Die Vorgabe konkreter erfahrbare semantischer Etikettierungen von Bewegungen oder Bewegungswahrnehmungen kann lerneffizient sein (z.B. KÖRNDLE/ NARCISS 1992).
- Kognitionen scheinen vor allem in der initialen Lernphase von Bedeutung zu sein (z.B. ADAMS 1971; MÜLLER/ BLISCHKE/ DAUGS 1993). Dies zeigt sich unter anderem auch in der Tatsache, daß kognitive Interferenzaufgaben in dieser Phase ausgeprägte Effekte zeigen (BLISCHKE 1986).

Ein besonderes Problem ist die Bedeutung von externen Zusatzinformationen. Lernen kann zwar durchaus ohne externe Zusatzinformationen stattfinden, z.B. in späteren Lernphasen (z.B. ADAMS 1971; SCHMIDT 1975) und bei Verfügbarkeit effektgesteuerter Korrekturen (z.B. KNAUF 1976; MECHLING 1986 a). Die bereits erwähnten empirischen Untersuchungen zu Effekten von Häufigkeit und Verteilung externer Rückmeldungen (KR) zeigen zumindest für einige Aufgaben, daß Rückmeldungen nicht unbedingt nach jedem Lernversuch gegeben werden sollten.

CHRISTIAN (1963, 33f.) geht davon aus, daß die Existenz von Fehlern sich deutlich im subjektiven Erleben zeigt, während Art und Ursachen der Fehler unklar bleiben. Aus Erfahrungen einer aktuellen Lern-Untersuchung kann abgeleitet werden, daß Lernende durchaus in der Lage sind, Art und Ursachen von Fehlern zu erkennen.

Ökologische Ansätze berücksichtigen kognitive Anteile nicht explizit. Allerdings verlangen die dargestellten Überlegungen zur Suche in einem Arbeitsraum, daß die entsprechenden Erfahrungen symbolisch-propositional repräsentiert werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde versucht, aktuelle Konzepte der Motorikforschung von Bewegung, Bewegungskontrolle und Bewegungslernen kritisch zu prüfen. Dabei zeigten sich die folgenden Ergebnisse:

- Bewegung muß als individuelle aufgabenbezogene Person-Umwelt-Interaktion interpretiert werden, die motivational und emotional geprägt ist und sich ständig dynamisch verändert.
- Die zentralen Probleme der Bewegungskontrolle werden unterschiedlich angegangen. Dabei scheinen die Lösungsansätze der ökologischen Ansätze vielversprechender zu sein.
- Bewegungslernen ist eine mehr oder weniger systematische Suche in einem durch Aufgabe, Person und Umwelt eingeschränkten Wahrnehmungs-Bewegungsraum, wobei kognitive Prozesse eine wichtige Rolle spielen. Im Verlaufe des Bewegungslernprozesses wird die Fähigkeit erworben, Bewegungsaufgaben im Sport auf der Grundlage individueller Voraussetzungen anforderungsgerecht und situationsadäquat zu lösen. Dabei sind Lernen und Leistung zu unterscheiden.

Welche zukünftigen Perspektiven ergeben sich für die psychologisch akzentuierte Motorikforschung? Hier soll zwischen Theorie-Entwicklung und empirischer Praxis unterschieden werden:

- In der Theorie-Entwicklung müssen Modelle gesucht werden, die interne Repräsentationen angemessener oder sparsamer und unter Verzicht auf Orientierung an technischen Vorbildern einsetzen, Selbstorganisationsphänomene berücksichtigen und das Zusammenspiel zwischen hierarchischer und heterarchischer Kontrolle integrieren. MEIJER/ WAGENAAR/ BLANKENDAAL (1988) haben die Vorzüge derartiger "hybrider" Modelle dargelegt.

- Weiterhin sollte die Theorie-Bildung kognitive, emotionale und motivationale Prozesse entweder berücksichtigen oder klarlegen, von welchen kognitiven, emotionalen und motivationalen Rahmenbedingungen ausgegangen wird.
 - In empirischen Untersuchungen sollten individuelle Lösungen stärker Berücksichtigung finden. Dies bedeutet eine Abkehr von leicht zu messenden traditionellen Fehlermaßen und Hinwendung zu einem funktionalen Verständnis von Bewegung und Bewegungslernen.
 - Weiterhin sollten nicht nur Ausführungsleistungen, sondern auch kognitive, emotionale und motivationale Aspekte in empirischen Untersuchungen erfaßt werden. Eine Berücksichtigung dieser Aspekte verspricht eine genauere Erfassung der verschiedenen Begleitprozesse beim Bewegen oder Bewegungslernen. In eigenen empirischen Untersuchungen zum Bewegungslernen wird diese Strategie verfolgt.
 - Zentrale Probleme der Bewegungskontrolle sind empirisch adäquat zu lösen, wenn man von einer a priori durchgeführten "bottom-up"-Analyse absieht und das sensorische System als dynamisches, selbstorganisierendes dissipatives System interpretiert. Dies impliziert, daß man die möglichen Systemzustände z.B. dadurch ermittelt, daß man systematisch die Rahmenbedingungen (Aufgabe, Umwelt, Person) variiert. Damit wird es möglich, die verschiedenen Anteile dieser drei Rahmenbedingungen zu bestimmen und in ihrem Zusammenspiel zu erforschen.
- Abschließend sei bemerkt, daß alle Modelle oder Theorien das Original verkürzt abbilden. Es reicht aber nicht aus, einem Ansatz Verkürzungen nachzuweisen und Leistungen von ihm zu verlangen, für die er nicht konzipiert wurde (vgl. PROHL 1991). Entscheidende Kriterien sind die Legitimation dieser Verkürzungen und der Nachweis ihrer Brauchbarkeit oder Nützlichkeit.

Literatur

- ADAMS, J.A.: A Closed-Loop Theory of Motor Learning. In: *Journal of Motor Behavior* 3(1971), 111-150.
- BALLREICH, R.: Untersuchungsziele der Biomechanik des Sports. In: BALLREICH, R./BAUMANN, W. (Hrsg.): *Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme, Methoden, Modelle*. Stuttgart 1988, 13-54.
- BEEK, P.J.: *Juggling Dynamics*. Amsterdam 1989.
- BERNSTEIN, N.: *Biodynamics of Locomotion* (Original erschienen 1940). In: WHITTING, H.T.A. (Ed.): *Human Motor Actions*. Bernstein Reassessed. Amsterdam 1984, 171-222.
- BERNSTEIN, N.A.: *Bewegungsphysiologie*. Leipzig 1988.
- BIZZI, E./HOGAN, N./MUSSA-IVALDI, F.A./GISZTER, S.: Does the nervous system use equilibrium-point control to guide single and multiple joint movements? In: *Behavioral and Brain Sciences* 15(1992), 603-613.
- BLISCHKE, K.: Zur Enkodierungsspezifität von Gedächtnisrepräsentationen beim visuomotorischen Lernen. Unveröffentlichtes Manuskript eines Vortrags auf der 28. Teap in Saarbrücken. Berlin 1986.
- BLISCHKE, K.: Bewegungslernen mit Bildern und Texten. Köln 1988.
- BLISCHKE, K./MARSCHALL, F./MÜLLER, H./DAUGS, H.: Gibt es Frequenzeffekte bei videogestützten Modellprozessen im Sport? Plädoyer für eine prozeßorientierte Forschungsstrategie. Manuskript eines Vortrags auf der 35. Teap in Münster. Saarbrücken 1993.
- BÖS, K./MECHLING, H.: *Motorik (motor system)*. In: RÖTHIG, P. (Ltg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon*. Schorndorf 1992, 318-322.

- BRAITENBERG, V./SCHÜTZ, A.: Cortex: hohe Ordnung oder größtmögliches Durcheinander? In: *Spektrum der Wissenschaft* 1989, H.5, 74-86.
- BREUER, F.: *Wissenschaftstheorie für Psychologen*. Eine Einführung. München: dtv 1989.
- BRIGGS, J./PEAT, F.D.: Die Entdeckung des Chaos. München: dtv 1993.
- CHRISTIAN, P.: Vom Wertbewußtsein im Tun. Ein Beitrag zur Psychophysik der Willkürbewegungen. In: BUYTENDIJK, F.J.J./CHRISTIAN, P./PLÜGGE, H.: *Über die menschliche Bewegung als Einheit von Natur und Geist*. Schorndorf 1963, 19-44.
- CRAMER, F.: *Chaos und Ordnung. Die komplexe Struktur des Lebendigen*. Frankfurt/M.: Insel 1993.
- DAUGS, R./BLISCHKE, K.: *Sensomotorisches Lernen*. In: CARL, K./KAYSER, D./MECHLING, H./PREISING, W. (Hrsg.): *Handbuch Sport*. Bd. 1. Düsseldorf 1984, 381-420.
- DE MARÉES, H.: *Leistungsdiagnostik am Bewegungsapparat und Sinnesorgane? Unveröffentlichtes Manuskript*. Bochum o.J.
- DE MARÉES, H.: *Sinnesphysiologische Aspekte im Sport*. In: BÖNING, D./BRAUMANN, K.M./BUSSE, M.W./MAASSEN, N./SCHMIDT, W. (Hrsg.): *Sport - Rettung oder Risiko für die Gesundheit? Köln 1989*, 37-44.
- EBERSPÄCHER, H.: *Lernen*. In: EBERSPÄCHER, H. (Hrsg.): *Handlexikon Sportwissenschaft*. Reinbek 1987, 247-252.
- ENNENBACH, W.: Zur wechselseitigen Konstitution von Verhalten und Situation. In: DAUGS, R./LEIST, K.-H./ULMER, H.-V. (Red.): *Motorikforschung aktuell*. Clausthal-Zellerfeld 1989, 135-148.
- ENNENBACH, W.: *Bild und Mitbewegung*. Köln 1991.
- FELDMAN, A.G.: Once More on the Equilibrium-Point Hypothesis (A Model) for Motor Control. In: *Journal of Motor Behavior* 18(1986), 17-54.
- FOWLER, C.A./TURVEY, M.T.: Skill Acquisition: An Event Approach with Special Reference to Information Processing in Motor Control and Learning. New York 1978, 1-40.
- GENTNER, D.R.: *Timing of Skilled Motor Performance: Test of the Proportional Duration Model*. In: *Psychological Review* 94(1987), 255-276.
- GÖHNER, U.: *Bewegungsanalyse im Sport*. Schorndorf 1987.
- GROEBEN, N.: *Handeln, Tun, Verhalten als Einheiten einer verstehend-erklärenden Psychologie*. Tübingen 1986.
- GRUPE, O.: Was ist und was bedeutet Bewegung? In: HAHN, E./PREISING, W. (Red.): *Die menschliche Bewegung - Human Movement*. Schorndorf 1976, 3-19.
- HAKEN, H.: *Synergetik: Eine Einführung*. Berlin, Heidelberg, New York, Paris, Tokyo, Hong Kong 1990.
- HATZE, H.: *Motion Variability - its Definition, Quantification and Origin*. In: *Journal of Motor Behavior* 18(1986), 5-16.
- HEUER, H.: *Bewegungslernen*. Stuttgart 1983.
- HEUER, H.: *Testing the Invariance of Relative Timing: Comment on Gentner (1987)*. In: *Psychological Review* 95(1988), 552-557.
- JEKA, J.J./KELSO, J.A.S.: *The Dynamic Pattern Approach to Coordinated Behavior: A Tutorial Review*. In: WALLACE, S.A. (Ed.): *Perspectives on the Coordination of Movement*. Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo 1989, 3-45.
- KASSAT, G.: *Biomechanik für Nicht-Biomechaniker*. Bände 1993.
- KEELE, S.W.: *Movement Control in skilled motor performance*. In: *Psychological Bulletin* 70(1968), 387-400.
- KELSO, J.A.S.: *Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination*. In: *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 246(1984), R1000-R1004.
- KNAUF, K.: *Bewegungs-Funktion versus Bewegungs-Form*. In: DIECKERT, J./LEIST, K.-H. (Hrsg.): *Auf der Suche nach Theorie-Praxis-Modellen im Sport*. Schorndorf 1976, 171-177.
- KÖRNDLE, H.: *Ordnungs- und Interaktionsphänomene beim motorischen Lernen*. In: JANSSEN, J.P. (Hrsg.): *Synergetik und Systeme im Training und Wettkampf*. 1992 (i.Dr.).
- KÖRNDLE, H./NARCISS, S.: *Der Einfluß des Verbalisierens auf das Bewegungslernen*. Zur Publikation eingereichtes Manuskript. Regensburg 1992.

- KUGLER, P.N./ KELSO, J.A.S./ TURVEY, M.T.: On the Concept of Coordinative Structures as Dissipative Structures: I. Theoretical Lines of Convergence. In: STELMACH, G.E./ REQUIN, J. (Eds.): *Tutorials in Motor Behavior*. Amsterdam 1980, 3-47.
- KUGLER, P.N./ SHAW, R.E./ VICENTE, K.J./ KINSELLA-SHAW, J.: Inquiry into Intentional Systems I: Issues in Ecological Physics. In: Report "Mind and Brain". No. 30. Bielefeld: ZIF 1990.
- KUHN, W.: Motorisches Gedächtnis. Schorndorf 1984.
- LAUCKEN, U.: Über ordentliches Denken. In: DAUGS, R./ LEIST, K.-H./ ULMER, H.-V. (Red.): *Motorikforschung aktuell*. Clausthal-Zellerfeld 1989, 124-134.
- LEIST, K.-H./ LOIBL, J.: Praxisrelevante Grundlagenaspekte der Bewegungswahrnehmung aus der Sicht der sportwissenschaftlichen Bewegungslehre. In: RIEDER, H./ BÖS, K./ MECHLING, H./ REISCHLE, K. (Hrsg.): *Motorik- und Bewegungsforschung*. Schorndorf 1983, 260-264.
- LOOSCH, E.: Ganzheitsprinzip und Variabilität in der Motorik. Kassel 1990.
- LOOSCH, E.: Das Ganze läuft genauer ab als seine Teile. In: *Sportpsychologie* 7(1993), 26-30.
- MARSCHALL, F.: Informationsfrequenz und motorisches Lernen. Frankfurt/ M. 1992.
- MECHLING, H.: Feedback beim Üben und Lernen in Unterricht und Training. In: *Sportunterricht* 35(1986 a), 333-345.
- MECHLING, H.: Lerntheoretische Grundlagen von Feedback-Prozeduren bei sportmotorischem Techniktraining. In: DAUGS, R. (Red.): 2. Berliner Workshop "Medien im Sport". Die Steuerung des Technik-Trainings durch Feedback-Medien. Frankfurt/ M. 1986 b, 9-33.
- MECHLING, H.: Lernen. In: RÖTHIG, P. (Hg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon*. Schorndorf 1992 a, 284-288.
- MECHLING, H.: Motorisches Lernen. In: RÖTHIG, P. (Hg.): *Sportwissenschaftliches Lexikon*. Schorndorf 1992 b, 323-327.
- MEIJER, O.G./ ROTH, K. (eds.): *Complex Movement Behaviour*. 'The' motor-action controversy. Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo 1988.
- MEIJER, O.G./ WAGENAAR, R.C./ BLANKENDAAL, F.C.M.: The Hierarchy Debate: Tema Con Variazioni. In: MEIJER, O.G./ ROTH, K. (eds.): *Complex Movement Behaviour*. 'The' motor-action controversy. Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo 1988, 489-561.
- MÜLLER, H./ BLISCHKE, K./ DAUGS, R.: Cognitive Components in Model Based Visuo-Motor Learning. Zur Publikation in "British Journal of Psychology" eingereichtes Manuskript. Saarbrücken 1993.
- MUNZERT, J.: Flexibilität des Handelns. Köln 1989.
- MUNZERT, J.: Motorikrepräsentation, Bewegungswissen und Bewegungshandel. In: *Sportwissenschaft* 22(1992), 344-356.
- NEUMAIER, A.: Zur Diagnostik und Steuerung feinregulatorischer Gleichgewichtsvorgänge am Beispiel des alpinen Skilaufs. Vortrag auf dem dvs-Symposium "Motorische Entwicklung und Sport" vom 28.-30.1.1993 in Trassenheide/ Usedom.
- NEUMANN, O.: Informationsverarbeitung, Künstliche Intelligenz und die Perspektiven der Kognitionspsychologie. In: O. NEUMANN (Hrsg.): *Perspektiven der Kognitionspsychologie*. Berlin 1985, 3-37.
- NEWELL, K.M./ KUGLER, P.N./ VAN EMMERIK, R.E.A./ MAC DONALD, P.V.: Search Strategies and the Acquisition of Coordination. In: WALLACE, S.A. (Ed.): *Perspectives on the Coordination of Movement*. Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo: Elsevier 1989, 85-122.
- NITSCH, J.R.: Handlungstheoretische Grundannahmen - eine Zwischenbilanz. In: HAGEDORN, G./ KARL, H./ BÖS, K. (Red.): *Handeln im Sport*. Clausthal-Zellerfeld 1985, 26-41.
- PIJNING, H.F.: Effective learning strategies in the acquisition of psychomotor skills. In: *Sportwissenschaft* 12(1982), 56-64.
- PROHL, R.: Verstehensdefizite sportwissenschaftlicher Bewegungstheorien. In: *Sportwissenschaft* 21(1991), 368-383.
- REED, E.S.: Applying the Theory of Action Systems to the Study of Motor Skills. In: MEIJER, O.G./ ROTH, K. (Eds.): *Complex Movement Behaviour*. 'The' motor-action controversy. Amsterdam: Elsevier 1988, 45-86.
- ROTH, K.: Taktik im Sportspiel. Schorndorf 1989.
- ROTH, K.: Ein neues "ABC" für das Techniktraining im Sport. In: *Sportwissenschaft* 20(1990), 9-26.
- SALMONI, A.W./ SCHMIDT, R.A./ WALTER, C.B.: Knowledge of Results and Motor Learning: A Review and Critical Reappraisal. In: *Psychological Bulletin* 95(1984), 355-386.

- SCHERER, H.G.: Analysewelt und Handlungsweit im Einklang? In: DIECKERT, J./ PETERSEN, U./ RIGAUER, B./ SCHMÜCKER, B. (Hrsg.): *Sportwissenschaft im Dialog*. Bewegung - Freizeit - Gesundheit. Aachen 1993, 71-72.
- SCHMIDT, R.A.: A Schema Theory of Discrete Motor Skill Learning. In: *Psychological Review* 82(1975), 225-260.
- SCHMIDT, R.A.: The Search for Invariance in Skilled Movement Behavior. In: *Research Quarterly for Exercise and Sport* 56(1985), 188-200.
- SCHMIDT, R.A.: Motor Control and Learning. A Behavioral Emphasis. Champaign: Human Kinetics 1988.
- SCHMIDT, R.A.: Frequent Augmented Feedback Can Degrade Learning: Evidence and Interpretations. In: STELMACH, G.E./ REQUIN, J. (Eds.): *Tutorials in motor neuroscience*. Dordrecht 1991, 59-75.
- SCHNEIDER, K.: Koordination und Lernen von Bewegungen. Frankfurt/ M. 1989.
- SCHÖNER, G./ HAKEN, H./ KELSO, J.A.S.: A Stochastic Theory of Phase Transitions in Human Hand Movement. In: *Biological Cybernetics* 53(1986), 247-257.
- SHEA, J.B./ MORGAN, R.L.: Contextual Interference Effects on the Acquisition, Retention and Transfer of a Motor Skill. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 5(1979), 179-187.
- SHERWOOD, D.E.: Impulse Characteristics in Rapid Movement: Implications for Impuls-Variability Models. In: *Journal of Motor Behavior* 18(1986), 188-214.
- STELMACH, G.E./ DIGGLES, V.A.: Control Theories in Motor Behavior. In: *Acta Psychologica* 50(1982), 83-105.
- STIMPEL, E.: Der Wurf. In: *Neue Psychologische Studien*. Bd. 9. München 1938, 105-138.
- TURVEY, M.T.: Preliminaries to a Theory of Action with Reference to Vision. In: SHAW, R./ BRANSFORD, J. (Eds.): *Perceiving, acting and knowing: Toward an ecological psychology*. Hillsdale 1977, 211-265.
- TURVEY, M.T.: Coordination. In: *American Psychologist* 45(1990), 938-953.
- TURVEY, M.T.: Action and Perception From an Ecological Point of View. In: DAUGS, R./ MECHLING, H./ BLISCHKE, K./ OLIVIER, N. (Hrsg.): *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining*. Internationales Symposium "Motorik- und Bewegungsforschung" 1989 in Saarbrücken. Bd. 1. Schorndorf 1991, 78-95.
- TURVEY, M.T./ KUGLER, P.N.: An Ecological Approach to Perception and Action. In: WHITING, H.T.A. (Ed.): *Human Motor Action*. Bernstein Reassessed. Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo 1984, 373-412.
- UNGERER, D./ DAUGS, R.: Bewegungsgedächtnis. In: RÖTHIG, P. (Red.): *Sportwissenschaftliches Lexikon*. Schorndorf 1977, 56.
- VEREIJKEN, B.: Modelling in the Learning of Complex Cyclic Movements. In: DAUGS, R./ MECHLING, H./ BLISCHKE, K./ OLIVIER, N. (Hrsg.): *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining*. Internationales Symposium "Motorik- und Bewegungsforschung" 1989 in Saarbrücken. Bd. 2. Schorndorf 1991, 83-86.
- VOIGT, E.: Über den Aufbau von Bewegungsgestalten. In: *Neue Psychologische Studien*. Bd. 9. München 1938, 1-32.
- WHITING, H.T.A./ VOGT, S./ VEREIJKEN, B.: Human Skill and Motor Control: Some Aspects of the Motor Control - Motor Learning Relation. In: SUMMERS, J.J. (Ed.): *Approaches to the Study of Motor Control and Learning*. Amsterdam 1992, 81-111.
- WIEMEYER, J.: Motorische Kontrolle und motorisches Lernen im Sport. Grundlagen und Probleme der Theorie Generalisierter Motorischer Programme. Teil 1: Motorische Kontrolle. In: *Sportpsychologie* 6(1992 a), H.1, 5-11.
- WIEMEYER, J.: Motorische Kontrolle und motorisches Lernen im Sport. Grundlagen und Probleme der Theorie Generalisierter Motorischer Programme. Teil 2: Motorisches Lernen. In: *Sportpsychologie* 6(1992 a), H.2, 5-12.
- WIEMEYER, J.: Hic Rhodus, hic salta! Zum Lern- und Anwendungskontext von Bewegungsfertigkeiten. In: *Sportunterricht* 42(1993 a), 187-198.
- WIEMEYER, J.: Interne Bewegungsrepräsentation. Grundlagen und Probleme eines komplexen Konstruktes. In: *Sportwissenschaft* 23(1993 b) (i.Dr.).
- WIEMEYER, J./ SPIEGELBURG, A.: Hic Rhodus, hic salta! Ausgewählte Praxis-Beispiele zum Motto "Lerne das Springen anwendungsgerecht". In: *Sportunterricht* 43(1994), 21-32.

- WILLIMCZIK, K./ROTH, K.: Bewegungslehre. Reinbek 1983.
 WULF, G.: Schema Theory and Mass-spring Control of Movements: An Attempt at Integration. In: Sportwissenschaft 19(1989), 204-215.
 WULF, G.: Neuere Befunde zur Effektivierung des Bewegungskommens. In: Sportpsychologie 6(1992), H.1, 12-16.
 ZIMMER, A.C./KÖRNDLE, H.: A Model for Hierarchically Ordered Schemata in the Control of Skilled Action. In: Gestalt Theory 10(1988), 85-102.
 ZIMMERMANN, K.W./KAUL, P.: Einführung in die Psychomotorik. Kassel 1990.

Martin Lames

Zeitreihenanalyse in der Trainingswissenschaft¹

Abstract: The Use of Time Series Analysis in the Theory of Training

After presenting considerations pertaining to the definition of time-series and the relation of time-series- vs. single case-analyses, the second section describes a number of useful applications of time-series analysis in the theory of training. The most important fields of application are the description of training-processes as timebends (e.g. periodization), the statistical analysis of training-experiments and analyses of training-effects. Besides these compelling indications for the use of case analyses and time-series analyses as methods in the theory of training it is shown in the first part of this section, that 'traditional' sample-based statistical methods often do not have the potential to answer specific questions on the theory of training. Major handicaps of these methods lie in the process-diagnostics (e.g. objective and subjective stress) and in the analysis of complex, individually determined phenomena (e.g.: stress-reaction, interactive, spontaneous and random courses of competitive sports games and combatant sports disciplines).

These convincing arguments for the use of single case and time-series analyzing methods is counteracted by grave problems with their practical application - as they are described in chapter 4.1.1. They should, however, only function as a retarding factor, time-series analyses being the only methodical approach to a number of central scientific questions on the theory of training. One important task is the identification of questions for which time-series can be utilized. The first steps with this procedure should be made on the basis of simple, descriptive questions in order to gain experience with the method. On the basis of these and with plenty of careful preparation valid experiments should be possible. All in all a broader use of time-series analysis assures a considerably deeper scientific understanding of the training-process.

Zusammenfassung

Nach allgemeinen Ausführungen zur Definition von Zeitreihen und zum Verhältnis Zeitreihen- vs. Einzelfallanalysen wird im zweiten Abschnitt eine Fülle von lohnenden Anwendungen der Zeitreihenanalyse in der Trainingswissenschaft beschrieben. Die wichtigsten Einsatzgebiete sind die Abbildung von Trainingsprozessen als Verläufe in der Zeit (z.B. Periodisierung), die Auswertung von Trainingsexperimenten und Trainingswirksamkeitsanalysen.

Neben dieser überzeugenden Indikationslage für den Einsatz einzelfall- und zeitreihenanalytischer Methoden in der Trainingswissenschaft kann darüber hinaus im ersten Abschnitt gezeigt werden, daß "traditionelle" gruppenstatistische Verfahren oft nicht in der Lage sind, spezifische Fragen der Trainingswissenschaft zu beantworten. So liegen große Handicaps der gruppenstatistischen Verfahren in der Prozeßdiagnostik (z.B. Belastungs-Anpassungsprozesse) und in der Analyse von individuell determinierten, komplexen Sachverhalten vor (z.B. Belastungs-Beanspruchungsreaktionen, interaktive, spontane und zufällige Verläufe von Wettkämpfen in Sportspielen und Kampfsportarten).

Diesen starken Argumenten für den Einsatz einzelfall- und zeitreihenanalytischer Methoden stehen allerdings erhebliche Probleme im praktischen Einsatz gegenüber, wie in Abschnitt 4.1 ausgeführt wird. Diese sollten aber letztlich nur aufschiebenden Charakter haben, da Zeitreihenanalysen als Zugang zu gewissen zentralen trainingswissenschaftlichen Fragen die einzige methodische Alternative darstellen.

¹ Überarbeitete Fassung eines Referates auf dem 4. dvs-Workshop zur Förderung des sportwissenschaftlichen Nachwuchses zum Thema: "Aktuelle Probleme der Trainingswissenschaft" vom 23.-27. August 1993 in Berlin.