

HANS-GEORG SCHERER

Bewegung und Wahrnehmung zwischen Funktion und Topologie - Zum Zusammenhang von perzeptiven und motorischen Leistungen¹

1 Problemstellung

Dass die Verknüpfung von Wahrnehmung und Bewegung eine essenzielle Rolle bei jeglichem sportlichen Handeln spielt, ist ebenso trivial wie evident und die Bedeutung für didaktische Maßnahmen des Bewegungslernens und des Techniktrainings rückt zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Betrachtung. Von praktischem Interesse sind sowohl Fragen der direkten Interaktion beim Bewegungshandeln selbst („on-line“-Wechselwirkung), z.B. bei der Raumwahrnehmung während lokomotorischer Bewegungen oder im Sportspiel, bei der Objektwahrnehmung oder Zeitwahrnehmung, als auch Fragen der indirekten Interaktion („off-line“-Wechselwirkung), z.B. bei Bewegungsvorstellungen und bei der Antizipation von Handlungen, beim mentalen Training, beim Imitationslernen oder bei der Einschätzung von Fremdbewegung. Modelle, die eine übergreifende und integrative Betrachtung dieser praxisrelevanten Problemkreise erlauben würden, blieben jedoch lange Zeit Desiderat, wenngleich diese Frage auch in sportpädagogischen Arbeiten immer wieder Beachtung fand (z.B. Leist, 1993; Loibl, 1990; Moegling, 2001; Trebels, 1992; Scherer, 1990; 2001). Der vorliegende Beitrag erörtert zunächst Grundlinien neuerer integrativer Wahrnehmungs-Handlungsmodelle und einige Befunde aus der psychologischen Forschung. Dabei stehen die Frage nach dem „Wie“ der Interaktion, d.h. nach den Verknüpfungsmechanismen und die Frage nach dem „Was“, nach den Invarianten als inhaltlicher Verknüpfungsbasis, im Vordergrund. Anschließend werden anhand zweier Forschungsparadigmen Befunde zur „off-line“-Wechselwirkung diskutiert und eine eigene explorative Studie zum Zusammenhang von Erkennensleistungen und motorischen Leistungen bei einer sportlichen Bewegung vorgestellt.

2 Wahrnehmung und Handlung

Das beim alltäglichen wie beim sportlichen Handeln evidente Ineinandergreifen von Bewegung und Wahrnehmung, von Repräsentations- und Exekutionsfunktion des Handelns, hat in der Vergangenheit immer wieder die wissenschaftliche Theorie- und Modellbildung beschäftigt. Dass Wahrnehmung und Motorik in engem Wechselspiel stehen, ist spätestens seit den Prismenbrillen-Versuchen Kohlers (1951) oder den Rollstuhlversuchen von Held (vgl. Teuber,

¹ Veröffentlichung in e-Journal „Bewegung und Training“ (07.02.2008; Publikation eingestellt)

1969) auch durch experimentelle Befunde belegt. Die lange Zeit (auch) in der Sportwissenschaft dominierenden programm- und informationstheoretischen Ansätze jedoch konzipierten Kognition und Perzeption auf der einen und Motorik auf der anderen Seite getrennt voneinander (vgl. zusammenfassend Daus, 1995) und konnten die Kopplung zweier kategorial inkommensurabel modellierter Einheiten nicht adäquat darstellen (vgl. Leist, 1993; Prinz, 1997; Scherer, 1993). Im Unterschied dazu modellierten sowohl Ansätze, die in der Tradition der Gestaltkreistheorie v. Weizsäckers (1940) stehen (z.B. Ennenbach, 1990), als auch ökologische Theorien im Gefolge Gibsons (1973) Wahrnehmung und Bewegung als funktionale und kategoriale Einheit (z.B. Turvey, 1991; Beek, 1992), verneinten dabei allerdings jegliche Funktion kognitiver Repräsentationen für den Zusammenhang von Wahrnehmung und Handeln und darüber hinaus auch für das Lernen. Damit können auch letztere einige der genannten Phänomene, z.B. das mentale Training oder das Nachahmungslernen, nicht adäquat erfassen (vgl. zusammenfassend Wiemeyer, 1994).

2.1 Schemata und Invarianten

Eine Integration von Grundannahmen des ökologischen Realismus und des Repräsentationalismus nimmt Neisser (1976) in seiner Schematheorie der Wahrnehmung vor, in der er herausarbeitet, dass die Extraktion von Information in einem gegebenen Wahrnehmungsfeld von dynamischen und handlungsbezogenen (antizipativen) Schemata geleitet wird, die ihrerseits mit kognitiven Repräsentationen interagieren. Neisser spricht von antizipativem „Tuning“ des Nervensystems über Schemata im Wahrnehmungsprozess. In einer Weiterführung seines Ansatzes (Neisser, 1985) geht er davon aus, dass Wahrnehmen und Bewegen über eben diese Schemata direkt aufeinander bezogen sind. Dabei fungieren abstrakte, amodale Invarianten als gemeinsame, handlungs- und wahrnehmungsleitende kognitive Strukturen. Solche amodalen Invarianten sind, ganz allgemein, raum-zeitliche Muster modaler Information, bei Bewegungen z.B. fließende oder abrupte, groß- oder kleinräumiger Verläufe, Beschleunigungen, Richtungen und Richtungswechsel, Rhythmen und Akzente. Sie unterliegen konkreten modalen, d.h. akustischen, visuellen oder haptischen Informationen ebenso wie motorischen Aktionen und stellen deren Kompatibilität sicher. Für die Existenz gemeinsamer Invarianten spricht auch die multimodale bzw. intermodale Kontrolle von Bewegungen. Beim Fangen eines Balls z.B. steht der Beginn des Schließens von Hand und Fingern unter visueller Kontrolle über die optische Variable „ τ “. Millisekunden später wird die Schließbewegung unter haptischer Kontrolle beendet. Ein derart nahtloser Übergang der Kontrolle dürfte kaum bei einem Wechsel des kontrollierenden Systems möglich sein. Neisser hierzu:

„The entire movement must be organized in a way that is indifferent to a particular sensory modality through which information arrives – that is, in terms of amodal invariants. To act on a perceived affordance, then, is to align one abstract invariant structure with another.“ (1985, 103).

Jüngere sportwissenschaftliche Befunde zur multimodalen Reizkonvergenz (Effenberg, 2003; 2004) stützen Neissers These. Effenberg konnte sowohl bei der Bewegungsbeobachtung als auch beim Bewegungsnachvollzug komplexer sportlicher Bewegungen erhöhte Leistungen unter bi- bzw. multimodalen Informationsbedingungen feststellen. Als reizseitige Konvergenzkriterien, die als Basis einer multimodalen Integration fungieren können, werden (in Anlehnung an Calvert et al., 1998) äquivalente Struktur, vergleichbare Dauer und Intensität sowie ähnliche Raumrichtung genannt. Diese Konvergenzkriterien weisen sowohl in funktionaler als auch in inhaltlicher Hinsicht Ähnlichkeiten mit Neissers amodalen Invarianten auf.

Auch das – schon etwas ältere - Konzept Bernsteins (1975/1988) ist hier einzuordnen. Ähnlich wie Neisser postuliert er topologische bzw. qualitative Invarianten als zentralnerval repräsentierte Einheiten, die Wahrnehmung und Bewegung leiten. Dabei versteht Bernstein unter Topologie die „Gesamtheit qualitativer Besonderheiten“ (1988, 86) wahrgenommener und realisierter Formen. So weist eine Handschrift an der Tafel und auf dem Papier auch bei völlig unterschiedlicher Schriftgröße gleichbleibende qualitative Merkmale auf, und auch beim Schreiben mit der nichtdominanten Hand oder mit dem Fuß lassen sich invariante Qualitäten erkennen. Die gleichen topologischen Invarianten ermöglichen die Identifikation von Handlungen und Symbolen unabhängig von ihren je spezifischen Merkmalsausprägungen.

Ein insbesondere für das Lernen und das Techniktraining im Sport relevanter Aspekt von Neissers Theorie ergibt sich daraus, dass Schemata aus ihrer antizipativen Funktion in Wahrnehmungs- und Handlungszyklen herausgelöst werden und als „cognitiv units“ Vorstellungen und mentale Bilder produzieren können. Auch als solche können sie von unterschiedlicher Abstrakt- bzw. Konkretheit und in unterschiedlichen Modalitäten und Perspektiven repräsentierbar sein, ein Aspekt, der auch mit multimodalen Gedächtnismodellen korrespondiert (z.B. Engelkamp 1990; Perrig 1988). Die Verbesserung realer Handlungen als Effekte mentalen Trainings wertet Neisser als Beleg dafür, dass Vorstellungen, Wahrnehmen und Handeln auf den gleichen amodalen Invarianten kognitiver Strukturen basieren und kommt zu dem Schluss, dass es somit möglich ist, „...to describe imagery and mental practice in the same terms as perception and movement: All of them depend on the same class of abstract structures.“ (1985, 108).

2.2 Repräsentation distaler Effekte

Prinz et al. publizierten seit den 90er Jahren eine Reihe von Arbeiten zur funktionalen Beziehung von Wahrnehmung und Handeln, in deren Mittelpunkt ebenfalls eine kommensurable Modellierung dieser Weltbezüge steht. Der „common-coding approach“ geht davon aus, dass die Wahrnehmung von Handlungen und Ereignissen einerseits und die Planung, Ausführung und Kontrolle von Handlungen andererseits auf gemeinsamen Repräsentationen

beruhen. Bei der Planung und Ausführung von Handlungen werden demnach Repräsentationen aktiviert, die auch an der Wahrnehmung von Handlungen und Ereignissen beteiligt sind und vice versa (vgl. Prinz, 1997). Fungieren bei Neisser (1985) amodale und bei Bernstein (1988) topologische Invarianten als beziehungsstiftende Größen, so steht im Mittelpunkt des „common-coding“-Ansatzes das Handlungseffektprinzip: Handlungen werden durch die Antizipation ihrer (distalen) Effekte in einer Umgebung bzw. mit Bezug auf Ereignisse, die distal repräsentiert sind, ausgelöst und kontrolliert. Dieselben distalen Effektrepräsentationen fließen auch in die Wahrnehmung (und Vorstellung) von Handlungen ein (vgl. Prinz et al., 1995).

Der Bezug von Wahrnehmen und Handeln auf distale Ereignisse und Handlungseffekte ist dabei nicht nur phänomenal evident: Wir nehmen unsere Umgebung, Objekte, Vorgänge und Eigenschaften wahr, nicht proximale Reize in Form der Reizung unserer Sinnesorgane oder gar zentrale Erregungen von Gehirnregionen. Auch die Wahrnehmung unseres eigenen Körpers ist in diesem Referenzsystem gegeben und damit kompatibel kodiert (vgl. auch Hossner, 2004). Und wir kontrollieren unsere Handlungen mit Bezug auf distale Objekte und Ereignisse, wenn wir z.B. nach einem Kugelschreiber greifen, einen Ball fangen oder den Absprungbalken beim Weitsprunganlauf fixieren. Unter der Voraussetzung, dass die biologische Funktion perzeptiver Systeme darin liegt, den Akteur mit relevanten Informationen über die situationsangemessene Planung und Ausführung von Handlungen zu versorgen, und die Funktion exekutiver Systeme darin, Situationen bedürfnisgerecht zu gestalten, ist die distale Referenz beider Systeme zunächst biologisch plausibel. Sie ist aber auch hinsichtlich der Kommensurabilitätsfrage von Bedeutung: Denn nur über ihre distale Referenz sind Wahrnehmung und Handlung kategorial kompatibel, weil nur im distalen Referenzsystem übereinstimmende Kodierungen vorliegen: Auf der Handlungsseite beziehen sie sich auf „events-to-be-effected“, auf der Wahrnehmungsseite auf „events-to-be-represented“ (Prinz, 1997). Handlungen sind damit im gleichen Format wie die Wahrnehmung externer Ereignisse repräsentiert und sind damit direkt und ohne Übersetzungsmechanismen auf diese beziehbar. Nähme man dagegen Repräsentationen auf proximaler Ebene, z.B. neuronale Efferenzen der Motorik, als Bezugsgrößen an, wäre das Kommensurabilitätsproblem unumgebar, da man zwei unterschiedliche Betrachtungsebenen funktional verknüpfen würde (vgl. Laucken, 1989).

Im „common-coding“-Modell beziehen sich Planung und Steuerung von Handlungen auf intendierte distale Effekte, die in Form antizipierter Wahrnehmungsereignisse kodiert sind. Indem Handlungen sich auf intendierte, zukünftige Wahrnehmungsereignisse richten, lässt sich die Generierung von Handlungskodes letztlich als intentional vermittelte Erweiterung von Wahrnehmungskodes darstellen: Man intendiert das, was man erwartet als distalen Effekt des Handelns wahrzunehmen. Ein vergleichbarer Mechanismus liegt auch dem Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung von Hoffmann (1993) zugrunde - auch hier wird postuliert, dass Handlungen durch antizipierte (und on-

line evaluierte) Effekte gesteuert werden². Die Annahme, dass sich die Handlungssteuerung an wahrnehmungsanalog kodierten Effekten und nicht an Parametern der Aktion selbst orientiert, konnte in einer Reihe von Experimenten bestätigt werden. Die Annahme der Integration wahrnehmungskodiert-antizipierter Handlungseffekte in die Handlungsplanung und –ausführung ist mit der Grundaussage der psychoökologischen Handlungsforschung („action approach“) gut vereinbar, dass nämlich Affordanzen in Maßen eigener Aktionsmöglichkeiten wahrgenommen werden und Affordanzen und Aktionsmöglichkeiten in reziprokem Verhältnis stehen („fit-Relation“ nach Warren, 1984; vgl. zusammenfassend Fikus, 2001). Praktische Phänomene, wie sie besonders beim sportlichen Handeln evident sind, lassen sich in diesem und im Sinne des Handlungseffektprinzips interpretieren: Wenn wir einen Ball als erreichbar einschätzen, in einem Buckel beim Skifahren eine Drehhilfe sehen, eine Lücke in der gegnerischen Abwehr als Gelegenheit für einen Durchbruch entdecken oder beim Klettern einen sicheren Griff suchen, sind diese unmittelbaren Wahrnehmungen bzw. Planungen immer von intendierten distalen Effekten durchwirkt. Bei intensiver mentaler Vorstellung solcher Situationen und Handlungen kann der antizipierte Effekt, etwa der sichere Halt an einer Felskante, wahrnehmungsanalog anschaulich fühlbar werden³.

2.3 Effekte zwischen Funktion und Topologie

Mit Blick auf sportliche Bewegungen bedarf der Effektbegriff einer Präzisierung, die auch für die unten geschilderte explorativen Studie von Relevanz ist. Distale Handlungseffekte haben eine funktionale und eine topologische Seite, die in der Motorikforschung in Begriffen des „knowledge of result“ (KR) und „knowledge of performance“ (KP) ein repräsentationsseitiges Pendant finden. Effenberg et al. (2001) unterscheiden im Zusammenhang mit der Bewegungswahrnehmung und mit Bezug auf KP und KR resultats- und ausführungorientierte Anteile. Handlungen haben i.d.R. funktionsbezogene Effekte im Hinblick auf die Erreichung je gegebener Handlungsziele. Beim Greifen eines Glases steht am Ende der Greifbewegung der Effekt, dass man das Glas in der Hand hält, das Aufkanten beim Skifahren hat den Effekt, dass ein Abrutschen verhindert wird. Man kann aber auch die bei der Greifbewegung produzierte Bewegungsgestalt als distalen Effekt sehen. Solche Bewegungsgestalten weisen bei Erreichung ihrer funktionalen Effekte jeweils aufgaben- und persontypische raum-zeitliche Muster auf, die Bernstein (1988) als topologische Invarianten bezeichnet. Diese Prozessgestalt entspricht KP bzw. den ausführungorientierten Anteilen in Wahrnehmung und Bewegung.

Beide Effekte stehen in regelhaftem Zusammenhang von Form und Funktion, indem das Auftreten spezifischer funktionaler Effekte mit entsprechenden to-

² Die Frage der Kommensurabilität von Wahrnehmungs- und Handlungskodes wird in diesem Ansatz allerdings nicht diskutiert

³ Zu ausführlicheren praktischen Beispielen und Analysen der Wahrnehmungs-Handlungseinheit aus psychoökologischer Sicht und zu didaktischen Aspekten s. Scherer, 2001 a und b; 2002

pologischen Effekten verknüpft ist und das Nicht-Eintreten von Effekten i.d.R. mit der Überschreitung topologischer Varianztoleranzen einhergeht. Dieser Zusammenhang ist insbesondere bei der Identifikation von Fremdbewegungen von großer Bedeutung, die man ja in der Regel nicht erst dann erkennt, wenn ihre funktionalen Effekte eingetreten sind. Unter der Voraussetzung, dass Beobachter von Handlungen über einschlägige Handlungsrepräsentationen und Verknüpfungen von KP- und KR-Komponenten verfügen, sind sie meist in der Lage, Handlungen bereits in ihrem Verlauf und vor Eintreten funktionaler Effekte über ihre topologischen Invarianten zu identifizieren. Im Sport ist diese Koppelung von nicht unerheblicher Bedeutung, weil topologische Invarianten durch die Antizipation zugehöriger Effekte die frühzeitige Identifikation der Ziele fremder Handlungen und damit auch deren Störung bzw. Verhinderung ermöglichen. Kampf- und Sportarten wären ohne diese Möglichkeit kaum denkbar, man stelle sich etwa einen Boxkampf vor, bei dem die Akteure die gegnerischen Handlungen erst an den resultativen Effekten erkennen. Auch das Erkennen teilverdeckter oder pantomimischer Bewegungen, denen bedeutungskonstituierende Kontextbezüge fehlen, ist auf diese Weise möglich. Für den im nächsten Abschnitt referierten Befund, dass spezifische Spiegelneuronen auch bei der Beobachtung von Aktionen feuern, deren letzter Teil nicht sichtbar ist, liefert die Annahme einer Repräsentationsbasis, die topologische und resultative Effekte verknüpft, ebenfalls eine Erklärung; denn wie anders als über topologische Merkmale sollte die Repräsentation der Aktion adressiert werden? Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass es im Sport Aufgaben- und Bewegungsklassen gibt, bei denen Bewegungen keine instrumentellen Funktionen im Dienste übergeordneter Handlungen haben, z.B. beim Tanzen oder bei der Sportgymnastik. Solche Bewegungen sind selbstreferenziell, es geht bei der Bewegungshandlung um den Vollzug der Bewegung selbst und ggf. um die Erfüllung spezifischer Bewegungsvorschriften (vgl. Buytendijk, 1956; Göhner, 1992).⁴ Insofern haben solche Bewegungen keine unmittelbar funktionsbezogenen Effekte, über die ein Akteur sie planen und kontrollieren und ein Beobachter sie erkennen könnte. Darin liegt ein besonderes Problem bei Aneignung, Kontrolle und Fremdbeurteilung gleichermaßen. Gleichwohl aber sind auch solche Bewegungen anhand ihrer topologischen Merkmale identifizierbar. Wie insbesondere Studien mit „point-light-displays“ zeigen, sind auf dieser Basis sehr differenzierte Erkennensleistungen möglich (s.u.).

2.4 Neurowissenschaftliche Korrelate: Spiegelneuronen

Die These der Verknüpfung von Handlung und Wahrnehmung über gemeinsame (effektorientierte) Repräsentationen wird durch die Entdeckung sog.

⁴ Es soll hier unberücksichtigt bleiben, dass solche Bewegungen auch Ausdrucks- und Darstellungsfunktionen repräsentieren können. Es liegen dann komplexe symbolische Beziehungen zugrunde, deren Analyse den Rahmen dieses Beitrages sprengen würde.

Spiegel- bzw. Mirrorneuronen gestützt, die zunächst im präfrontalen Kortex von Makaken-Affen entdeckt und mittlerweile auch beim Menschen mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie in einer Reihe von Funktionen differenziert wurden. Diese prämotorischen Neuronen feuern, wenn objekt- und zielorientierte Handlungen ausgeführt werden wie Greifen, Festhalten etc. Dieselben, für jede Handlung spezifischen Neuronen feuern ebenfalls, wenn betreffende Handlungen bei anderen beobachtet werden, sie reagieren aber nicht auf symbolische Hinweisreize. Da diese Neuronen auch dann aktiv sind, wenn Aktionen im Dunkeln ausgeführt werden, lässt sich ausschließen, dass es sich um visuelle Neuronen handelt, die auf die Beobachtung spezifischer Aktionen spezialisiert sind. Somit scheinen die Spiegelneuronen das System darzustellen, welches gemeinsame Codes für wahrgenommene und selbst ausgeführte Handlungen enthält. Auch die These, dass Handlungen auf abstrakter Ebene über distale Handlungseffekte repräsentiert sind, erfährt Unterstützung: Die Neuronen bleiben stumm, wenn Bewegungen ohne Objekt- und Zielbezug gezeigt werden und ebenso, wenn nur Objekte sichtbar sind (Bekering et al., 2001). Jackson & Decety (2004) berichten über jüngere Forschungen, die diese Zusammenhänge präzisieren. Eine Untergruppe der Spiegelneuronen antwortet auch dann, wenn der letzte Teil einer Aktion verborgen ist und nur erschlossen werden kann. Dies bedeutet, dass diese Neuronen nicht auf die Aktion selbst reagieren, sondern offenbar auf die Repräsentation des Zielbezugs der Aktion. Und dies bedeutet weiterhin, dass Verknüpfungen von verlaufs- und resultatbezogenen Merkmalen vorliegen müssen, die solche Schlüsse sichtbarer Verlaufsmerkmale auf nicht-sichtbare Handlungsergebnisse ermöglichen (s. o). Der Repräsentationsbezug äußert sich in einem weiteren, bei Jackson & Decety (2004) berichteten Befund: Einige Neuronen der betreffenden Region spiegeln Eigenschaften zwischen motorischer Modalität und anderen Modalitäten, z.B. dem Gehör und betreffen Aktionen unabhängig von ihrer Modalität. Dieser Befund stützt Neissers (1985) Hypothese der Verknüpfung von Wahrnehmung und Handlung über abstrakt und amodal repräsentierte Invarianten, die den unterschiedlichen modalen Konkretisierungen unterliegen.

In Hinblick auf die unten geschilderte Studie zum Zusammenhang von perzeptiven und motorischen Leistungen kommen Calvo-Merino et al. (2005) zu einem bemerkenswerten Ergebnis, indem sie nachweisen können, dass der Grad der Aktivierung von Spiegelneuronen bei der Beobachtung von Bewegungen vom Bekanntheitsgrad der beobachteten Bewegungen abhängig ist. Die Beobachtung von Bewegungen aus Bereichen, in denen die Beobachter selbst bewegungskompetent sind, führt zu höheren Aktivierungen im prämotorischen Cortex: Wenn Balletttänzer Ballettbewegungen und Capoeiratänzer Capoeirabewegungen beobachten ist die Neuronenaktivität höher als bei der Beobachtung von Ballettbewegungen durch Capoeiratänzer und von Capoeirabewegungen durch Balletttänzer. Die niedrigsten Aktivitäten werden bei Ver-

suchspersonen nachgewiesen, die weder mit der einen noch mit der anderen Tanzform vertraut sind.

2.5 „Off-line“-Beziehungen zwischen Handlung und Wahrnehmung: Imitation und Erkennen von Bewegungshandlungen

Im vorliegenden Zusammenhang sollen nun weitere ausgewählte Befunde zu „off-line“-Beziehungen von Wahrnehmung und Bewegungshandlung, bei denen nach den obigen Ausführungen einheitlich kodierte Repräsentationen zu Grunde liegen dürften, erörtert werden. Wie einleitend schon erwähnt, sind diese Wechselwirkungen von vielfältiger Bedeutung für die Sportpraxis. Sie reichen von der Frage, welche Mechanismen beim Lernen durch Demonstration und Nachahmung wirken, bis hin zur oft debattierten Frage, ob ein Lehrer, ein Trainer oder ein Schieds-/Wertungsrichter über eigene einschlägige Sporterfahrungen verfügen muss, wenn er Sportpraxis fachkompetent anleiten und bewerten soll. In der psychologischen Forschung wird die Frage der repräsentationsbasierten „off-line“-Wechselwirkungen von zwei Seiten angegangen (vgl. Prinz, 1997): Auf der Handlungsseite sucht man nach Spuren der Wahrnehmung in der Handlung, dies geschieht insbesondere über Imitationsstudien. Komplementär dazu postulieren motorische Theorien der Bewegungswahrnehmung aktionale Kodierungen in der Wahrnehmung. Hier kommen unterschiedliche Designs der Fremdbeobachtung zum Einsatz.

Imitationsstudien verfolgen die Frage, wie (Bewegungs-) Handlungen, die bei anderen beobachtet werden, in eigene Bewegungsprogramme übersetzt werden, um gleiche oder ähnliche Handlungen zu produzieren. Dass bei der Imitation das beobachtete Modell eine direkte handlungsleitende Rolle spielt, konnte dadurch nachgewiesen werden, dass Versuchspersonen Kriteriumsbewegungen bei Präsentation eben dieser Bewegung (imitative Bedingung) schneller reproduzieren konnten als bei symbolischen oder räumlichen Hinweisreizen (vgl. Bekkering et al., 2001). Imitative Präsentationen zeigen darüber hinaus einen Einfluss auch dann, wenn sie gemeinsam mit den anderen Hinweisreizen gezeigt werden: sind sie kongruent mit diesen, verkürzen sich die Reaktionszeiten, sind sie inkongruent, verlängern sich diese. Bemerkenswert ist weiterhin, dass ganz im Sinne des Handlungseffektprinzips offenbar Ziele und Absichten des Modells imitiert werden: Kindergartenkinder weichen bei imitativen Zielbewegungen (Verdecken von Punkten), die auf ein Objekt gerichtet sind, unter bestimmten Bedingungen von den präsentierten Bewegungsverläufen ab oder führen sie mit der anderen Hand durch, erreichen aber stets das richtige Zielobjekt. Insbesondere auch ungewöhnliche, im Sinne der Zielerreichung unfunktionale Bewegungen, die das Modell in der Ausführung macht, werden nicht imitiert. Bewegungsverläufe werden dagegen immer dann korrekt imitiert, wenn kein Zielobjekt sichtbar ist. Diese Beobachtungen korrespondieren mit den oben referierten Befunden, dass bestimmte Spiegelneuronen nur bei der Beobachtung objektorientierter Handlungen feuern.

Man nimmt an, dass der Imitation das ideomotorische Prinzip zu Grunde liegt: Reale Handlungen werden durch die Antizipation intendierter Handlungseffekte ausgelöst. Diese Effektantizipationen werden auch bei der Beobachtung von Handlungen aktiviert und ermöglichen die Identifikation beobachteter Fremdhandlungen und die Übersetzung in eigene Handlungen durch den vorgestellten (effektgesteuerten) Mitvollzug der Fremdhandlung. Knoblich & Flach (2001) sprechen von intentionalen Schemata, welche eigene, imaginierte Aktionen mit gesehenen Handlungen synchronisieren. Auf die lehrmethodische Maßnahme der Bewegungsdemonstration gewendet, würde dies bedeuten, dass sich über das Vormachen nur solche Bewegungen vermitteln lassen, für die die Adressaten im Prinzip bereits über konstitutive Bewegungsprogramme verfügen. Dafür spricht auch ein korrelativer Zusammenhang zwischen Erkennensleistungen und motorischen Eigenleistungen in der noch zu schildernden explorativen Studie (s.u.).

Diese Studie ist einem Forschungsparadigma zuzuordnen, das sich mit dem Erkennen von Bewegungen unter informationsreduzierten Bedingungen beschäftigt. Informationsreduktion kann dabei durch unterschiedliche experimentelle Designs induziert werden. Verbreitet ist die „point-light“-Technik, bei der Bewegungen über Leuchtpunkte dargestellt werden, welche Körpergelenke markieren. Für die Versuchspersonen im Experiment sind ausschließlich die Trajektorien dieser Leuchtpunkte vor dunklem Hintergrund sichtbar, die sich bewegende Person und Objekte des Handlungskontextes dagegen nicht. Die zahlreichen Studien können hier nicht diskutiert werden. Ausgewählte Befunde mögen die hohe Differenzierungsfähigkeit beim Erkennen von „point-light“-Bewegungen belegen (zu Überblicken vgl. Effenberg, 2003; Jacobs, Pinto & Shiffrar, 2004; Jacobs & Shiffrar, 2005). So werden nicht nur generell unterschiedliche menschliche Bewegungsformen erkannt, sondern Bewegungsmuster von Freunden und Unbekannten unterschieden (Cutting & Koslowski, 1977), Geschlecht und Alter präsentierter Personen über das Gangmuster (Koslowski & Cutting, 1977) und sogar in Tanzbewegungen ausgedrückte Emotionen identifiziert (Brownlow et al., 1997). Auch Qualitäten nicht sichtbarer Objekte und Umweltbedingungen werden über Bewegungen richtig eingeschätzt, z.B. die gestuften Wurfweiten eines Sandsacks, die Gewichte von gehobenen Kisten (Runeson & Frykholm, 1983) und die Elastizität von Unterstützungsflächen (Stoffregen & Flynn, 1994). Wie schon die oben referierten neurowissenschaftlichen Befunde verweisen auch diese Schlüsse auf nicht sichtbare Objektqualitäten auf eine Interaktion von topologischen und funktionalen Invarianten der zugrunde liegenden Bewegungsrepräsentationen, die solche Schlüsse sichtbarer Verlaufsmerkmale auf nicht sichtbare Objektmerkmale und Handlungseffekte nur ermöglichen können. Des Weiteren lassen sich diese Befunde im Sinne des ideomotorischen Prinzips interpretieren.

Für eine Aktivierung motorischer Einheiten im Sinne des Spiegelneuronen-Prinzips sprechen auch Ergebnisse von Experimenten, in denen die Vpn Laufgeschwindigkeiten von „point-light-walkern“ unter verschiedenen Bedingungen

schätzen sollten (vgl. Jacobs & Shiffrar, 2005). Die Schätzungen sind dann am genauesten, wenn die Vpn selbst auf einem Laufband laufen, beobachtete und ausgeführte Bewegung sich also entsprechen. Die Schätzgenauigkeit ist geringer, wenn die Vpn während ihrer Beobachtung andere Bewegungen ausführen (Radfahren) oder nur beobachten. Auch die im Experiment Calvo-Merino et al. (2005) festgestellte Erfahrungsabhängigkeit der Aktivität von Spiegelneuronen scheint durch Befunde dieser Untersuchungsreihe gestützt zu werden, denn es wurde eine Abhängigkeit der Schätzleistungen von physischer Fitness und Trainingshäufigkeit gefunden, die per Fragebogen ermittelt wurde. Untersuchungsstrategie und erste Ergebnisse unserer eigenen Studie, die sich allerdings noch in einem explorativen Stadium befindet, lassen sich in den geschilderten theoretischen und empirischen Rahmen einordnen. Im Unterschied zu den geschilderten „point-light“-Studien bezogen wir jedoch die tatsächlichen motorischen Leistungen in Bezug auf die Kriteriumsbeziehung ein. Dabei versuchten wir die experimentellen Strategien vorliegender Laborstudien in einen sportrelevanten Rahmen mit möglichst hoher externer Validität zu übertragen.

3 Zum Zusammenhang von perzeptiven und motorischen Leistungen – eine explorative Studie

3.1 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung bestand aus zwei Teilen, aus einer Erkennungsaufgabe und aus einer zeitlich nachgeordneten motorischen Aufgabe, die sich beide auf die gleiche Bewegung bezogen. An der Untersuchung nahmen 15 Sportstudierende (7♂, 8♀) teil. Von 11 Vpn (5♂, 6♀) liegen vollständige Datensätze vor, die in die Auswertung eingehen.

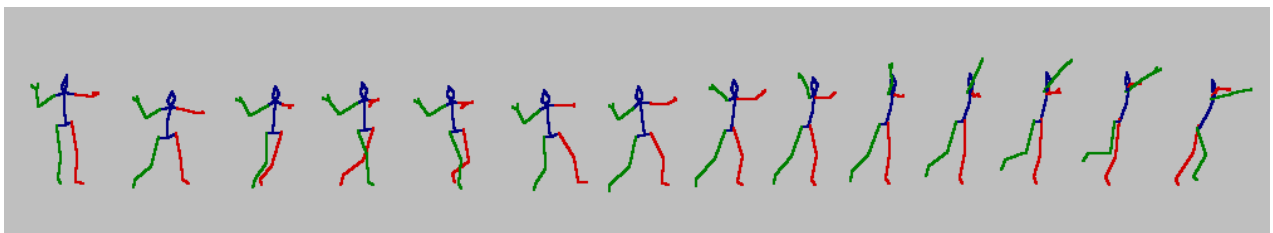


Abb. 1: Bewegungssequenzen der Erkennungsaufgabe

Erkennungsaufgabe: Den Vpn wurden zwei animierte und von allen Kontextvariablen „bereinigte“ Wurfbewegungen präsentiert. Es waren weder Wurfobjekte noch Effekte sichtbar. Die Bewegungssequenzen wurden den Vpn sowohl in Form von Bildreihen (s. Abb. 1) als auch in Form animierter Filmsequenzen dargeboten. Beide Bewegungen unterscheiden sich hinsichtlich eini-

ger Bewegungsparameter. Diese Unterschiede beruhen auf unterschiedlichen Gewichten, mit denen geworfen wurde.⁵

Die Vpn sollten (1) bestimmen, um welche Bewegungen es sich handelt und (2), welche Unterschiede sie im Einzelnen erkennen (ohne Vorgabe von Kategorien). Die Beurteilungen waren auf Beobachtungsprotokollen zu notieren, die von zwei unabhängigen Ratern kriterienbezogen ausgewertet und quantifiziert wurden.

Bewegungsaufgabe: Im zweiten Teil des Experiments, der im Abstand von einer Woche zum ersten Teil durchgeführt wurde, sollten die Vpn diese Wurfaufgaben selbst realisieren. Es waren zwei selbstgewählte Wurfgewichte zu werfen, wobei die Gewichte unter folgender Maßgabe gewählt werden sollten: (a) zunächst ein Gewicht, das gut zu werfen ist und (b) danach ein Gewicht, das die Vpn gerade noch werfen kann, das also an der kritischen Grenze der Werfbarkeit liegt. Die Vpn konnten zunächst die Wurfgewichte in Probeversuchen explorieren. Danach wurden mit den beiden gewählten Gewichten je zwei Versuche absolviert. Die Würfe wurden gefilmt und anschließend mit SIMI-Motion bearbeitet. In dieser abstrakten Form waren sie Grundlage für ein qualitatives Rating zweier unabhängiger Beurteiler (Inter-Rater-Korrelation .90) und für die quantitative Auswertung.

Unter der theoretischen Annahme, dass sich Wahrnehmung und Bewegungshandlung auf eine gemeinsame Repräsentationsbasis beziehen, in der topologische (verlaufsbezogene) und funktionale (resultatsbezogene) Invarianten in einer Wechselbeziehung stehen, ist zu erwarten, dass

- (a) die kontextfreien Bewegungsverläufe als Wurfbewegungen erkannt werden, was einen Schluss von verlaufs- auf resultatsbezogene Merkmale und eine Ergänzung der Objekte voraussetzt, und
- (b) die Differenzierungsgrade der Erkennungsleistungen und der motorischen Leistungen in systematischem Zusammenhang stehen. Dabei wird der Differenzierungsgrad der motorischen Leistung daran bemessen, in welchem Maße eine aufgabenadäquate Einschätzung der Wurfgewichte vorliegt und inwiefern sich diese in quantitativ und qualitativ unterscheidbaren Bewegungslösungen niederschlägt.

3.2 Ergebnisse

Zunächst ist festzustellen, dass die informationsreduzierten Bewegungen von allen Vpn als Wurfbewegungen erkannt wurden und dass die motorische Aufgabe von allen Vpn gelöst wurde. In die weitere Auswertung gehen folgende Variablen ein:

- Die Erkennungsleistung (Bewegungserkennung „BE“)

⁵ Aufgabe für den Demonstrator war es (a) mit einem gut werfbaren und (b) mit einem gerade noch werfbaren Gewicht (nach eigener Wahl) zu werfen

- Die qualitativen Merkmale der Bewegungsrealisierung in Form der kriterienbezogenen quantifizierten Differenzen der Bewegungsmerkmale bzgl. Wurfarm-, Bein- und Rumpffaktionen („Diff. QM“)
- Die quantitativen Merkmale der Bewegungsrealisierung in Form der Differenz der Abwurfgeschwindigkeiten zwischen den beiden Wurfaufgaben („Diff. V_{max} “)

Die Ergebnisse zeigen hohe Korrelationen zwischen den Erkennensleistungen und den quantitativen Differenzierungsleistungen ($r = .67^*$) und den quantitativen und qualitativen Merkmalen der Bewegungsleistungen ($r = .61^*$), nicht jedoch zwischen den Erkennensleistungen und den qualitativen Bewegungsleistungen ($r = .21$). Letzteres dürfte auf methodische Probleme einer adäquaten Differenzierung der Bewegungsqualitäten zurückzuführen sein, die in weiteren Untersuchungen einer besseren Lösung bedürfen.

Die deskriptive Statistik weist große Streuungswerte aus. Die Versuchsgruppe wurde deshalb über die Trennvariable BE geteilt (> 50% der maximal erreichbaren Punktzahl, $n = 6$; < 50% der erreichbaren Punktzahl, $n = 5$), um differenzielle Zusammenhänge feststellen zu können.

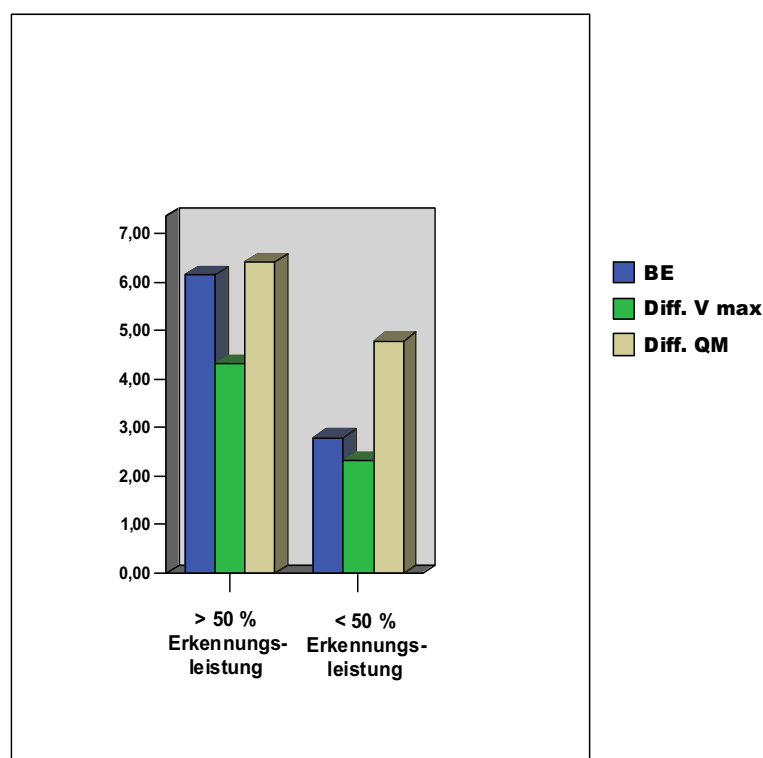


Abb.2: Gruppenvergleich der Probanden mit Erkennensleistungen über und unter 50% der maximal erreichbaren Punktzahl

Wie Abb. 2 zeigt, unterscheiden sich die Probanden mit besseren und schlechteren Erkennensleistungen auch bezüglich ihrer qualitativen und quantitativen Bewegungsdifferenzierung bei den beiden Wurfaufgaben deutlich. Die

Mittelwertunterschiede sind bei *BE* und *Diff. V_{max}* signifikant ($p = 0,00$ und $0,02$), nicht jedoch bei *Diff. QM*.

Angesichts des in methodischer Hinsicht explorativen Charakters der Studie und der kleinen Stichprobe ist eine vorsichtige Interpretation der Ergebnisse angebracht und eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse wäre zum gegenwärtigen Forschungsstand unangemessen. Zunächst sind weitere und über methodisch optimierte Verfahren gewonnene Daten abzuwarten. Gleichwohl sprechen diese ersten Ergebnisse für den erwarteten Zusammenhang zwischen perceptiven und motorischen Leistungen auch bei komplexen Bewegungsaufgaben des Sports und legen die Bestätigung der psychologischen und neurowissenschaftlichen Befunde einer Aktivierung motorischer Einheiten bei perceptiven und imitativen Aufgaben nahe. Auch die Tatsache, dass alle Vpn die Bewegungen in der informationsreduzierten Präsentation erkannten und differenzieren konnten, verdient Beachtung. Denn dies ist nur durch eine Interaktion von wahrgenommenen qualitativen Verlaufsmerkmalen mit antizipierten resultativen Effekten erklärbar. In Zusammenschau mit der *common coding-Hypothese* ergäbe sich eine Unterstützung der Annahme, dass Bewegung und Wahrnehmung auf gemeinsamen, durch topologische und funktionale Invarianten definierten Repräsentationen beruhen.

Literatur

- Bekkering, H., Kerzel, D., Wohlschläger, A. (2001). *Kognition und Handlung: Imitation*. Zugriff am 06. April 2005 unter http://www.mpipf-muenchen.mpg.de/CA/RESEARCH/imitation_g.html.
- Bernstein, N. A. (1975). *Bewegungsphysiologie*. Leipzig: A Barth.
- Bernstein, N. A. (1988). *Bewegungsphysiologie* (2. Aufl.) Leipzig: Ambrosius.
- Brownlow, S., Dixon, A. R., Egbert, C.A., Radcliffe, R.D. (1997). Perception of movement and dancer characteristics from point-light displays of dance. *Psychological Record*, 47 (3), 411-421.
- Buytendijk, F.J.J. (1956). *Allgemeine Theorie der menschlichen Haltung und Bewegung*. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.
- Calvert, G. A., Brammer, M.J. & Iversen, S.D. (1998). Crossmodal identification. *Trends in Cognitive Science*, 2, 247 – 253.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D.E., Grèzes, J., Passingham, R.E. & Haggard, P. (2004). Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. *Cerebral Cortex*. 2004, 0: 71. Zugriff am 20. Dezember 2005 unter <http://cercor.oxfordjournals.org/cgi/reprint/bhi007v1>.
- Cutting, J.E. & Kozlowski, L.T. (1977). Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 9, 353-356.
- Daug's, R. (1995). Motorische Kontrolle als Informationsverarbeitung: Vom Auf- und Niedergang eines Paradigmas. In: P. Blaser, C. Stucke & K. Witte (Hrsg.), *Steuer- und Regelvorgänge der menschlichen Motorik als Determinanten sportlicher Leistung* (13 – 38), (2. Symposium der dvs-Sektion "Sportmotorik" vom 27.-29. Januar 1994 in Magdeburg). Sankt Augustin: Academia.
- Effenberg, A. O., Mechling, H. & Spahr, M.T. (2001) Videobasierte Nachahmungsexperimente und externe Validität. In J. Munzert, S. Künzell, M. Reiser & N. Schott (Hrsg.), *Bewegung, Bewusstsein, Lernen*. Erschienen im ITES E-Journal: Bewegung und Training. Zugriff am 9. November 2004 unter http://www.sportinstitut.uni-bonn.de/personal/effenberg/ites_2001.pdf.

- Effenberg, A. O. (2003). Unbewusste Wahrnehmungsfunktionen bei der Bewegungsregulation. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre* (S. 197-213). Schorndorf: Hofmann.
- Effenberg, A.O. (2004): Using Sonification to Enhance Perception and Reproduction Accuracy of Human Movement Patterns. In: Hermann, T. & Hunt, A. (eds.): *Proceedings of the International Workshop on Interactive Sonification*. Bielefeld, 1-5.
- Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen, Toronto, Zürich: Hogrefe.
- Ennenbach, W. (1989). *Bild und Mitbewegung*. Köln: bps-Verlag.
- Fikus, M. (2001). Was sind die Skalen menschlichen Sich-Bewegens. In: K. Moegling, (Hrsg.): *Integrative Bewegungslehre. Teil II* (S.107 – 148). Immenhausen bei Kassel: Prolog Verlag.
- Gibson, J. J. (1973). *Die Sinne und der Prozeß der Wahrnehmung*. Bern, Stuttgart, Wien: Huber.
- Göhner, U. (1992). *Einführung in die Bewegungslehre des Sports, Teil 1: Die sportlichen Bewegungen*. Schorndorf: Hofmann.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe.
- Hossner, E.-J. (2004). *Bewegende Ereignisse*. Schorndorf: Hofmann
- Jackson, P.L. & Decety, J. (2004). Motor cognition: a new paradigm to study self-other interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 259-263.
- Jacobs, A., Pinto, J., Shiffrar, M. (2004). Experience, context, and the visual perception of human movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 822-835.
- Jacobs, A. & Shiffrar, M. (2005). Walking perception by walking observers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 157-169.
- Knoblich, G. & Flach, R. (2001). Predicting effects of action: Interactions of perception and action. *Psychological Science*, 12, 467-471.
- Kozlowski, L.T. & Cutting; J.E. (1977). Recognizing the sex of a walker from a dynamic point-light display. *Perception and Psychophysics*, 5, 427-459.
- Laucken, U. (1989). Über ordentliches Denken. In R. Dausgs, K.-H. Leist & H.V. Ulmer (Red.), *Motorikforschung aktuell* (S. 124-134). Clausthal-Zellerfeld: dvs
- Leist, K. H. (1993). *Lernfeld Sport*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Loibl, J. (1990). Den Blick lenken, um zu sehen. *sportpädagogik* 14 (1), 21 – 29.
- Loosch, E. (1999). *Allgemeine Bewegungslehre*. Wiebelsheim: Limpert Verlag.
- Moegling, K. (2001). *Integrative Bewegungslehre. Teil II: Wahrnehmung, Ausdruck und Bewegungsqualität*. Immenhausen bei Kassel: Prolog.
- Munzert, J. (1989). *Flexibilität des Handelns*. Köln: bps Verlag.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality (deutsch: Kognition und Wirklichkeit. Stuttgart: Klett-Cotta, 1979)*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Neisser, U. (1985). The role of invariant structures in the control of movement. In: M.Freese & J. Sabini (eds.), *Goal directed behavior: The concept of action in psychologie* (S. 97 – 108). Hillsdale: Erlbaum.
- Perrig, W. (1988). *Vorstellungen und Gedächtnis*. Berlin: Springer.
- Prinz, W., Aschersleben, G., Hommel, B. und Vogt, S. (1995). Handlungen als Ereignisse. In: D. Dörner und E. van der Meer (Hrsg.), *Das Gedächtnis. Probleme, Trends, Perspektiven* (S. 129-168). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe .
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129-154.
- Runeson, S. & Frykholm, G. (1983). Kinematic specifications of dynamics as an informational basis for person-and-action perception: expectation, gender recognition, and deceptive intention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 585-615.
- Scherer, H.- G. (1990). *Schilaf mit blinden Schülern. Konstruktion und Evaluation eines Lernangebots*. Frankfurt/M.: Harri Deutsch.
- Scherer, H.-G. (1993). Analysewelt und Handlungswelt im Einklang? In: J. Dieckert, U. Petersen, B. Rigauer & B. Schmücker (Hrsg.), *Sportwissenschaft im Dialog* (S. 71 – 72). Aachen: Meyer & Meyer.
- Scherer, H.-G. (2001,a). Zwischen Bewegungslernen und Sich-Bewegen-Lernen. *sportpädagogik*, 25, Sonderheft, 1 – 24.
- Scherer, H.-G. (2001,b). Raum und Bewegung. In: K. Moegling (Hrsg.), *Integrative Bewegungslehre. Teil II* (S. 59 – 82). Immenhausen bei Kassel: Prolog.

- Schmidt, R. (1982). *Motor control and learning*. Champaign: Human Kinetics.
- Stadler, M., Kruse, P. & Vogt, S. (1996). Selbstorganisationsansätze in der Bewegungsforschung. In: J.-P. Janssen, K. Carl, W. Schlicht & A. Wilhelm (Hrsg.), *Synergetik und Systeme im Sport*, 137-156, Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Band 84. Schorndorf: Hofmann.
- Stoffregen, T. A., & Flynn, S. B. (1994). Visual perception of support surface deformability from human body kinematics. *Ecological Psychology*, 6, 33-64.
- Teuber, H. L. (1969). Wahrnehmung, Willkürbewegung und Gedächtnis. *Studium Generale*, 22, 1135 – 1178.
- Trebels, A. H. (1992). Das dialogische Bewegungskonzept. Eine pädagogische Auslegung von Bewegung. *Sportunterricht* 41 (1), 20-29.
- Turvey, M.T. (1991). Action and Perception from an Ecological Point of View. In: R. Daus, H. Mechling, K. Blischke & N. Olivier (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining*, Bd. 1 (78 – 95). Schorndorf: Hoffmann.
- Warren, W.H. (1984). Perceiving affordances: Visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 683 – 703.
- Wiemeyer, J. (1994). *Interne Bewegungsrepräsentation*. Köln: bps.