Bewegungswahrnehmung und Bewegungsvorstellung im Sport

© Prof. Dr. Klaus Wiemann, Universität Wuppertal 1994 (überarbeitet 2001)

Inhaltsverzeichnis

V	orwort		2				
1	Bewegu	ıngswahrnehmung	2				
	1.1	Körperschema	5				
	1.2	Wahrnehmung von Körperposition und Körperbewegung	8				
		1.2.1 Funktionen und Mechanismen zur Bildung der Bewegungswahrnehmung	11				
		1. Adaptation	11				
		2. Konvergenz und Kontrastschärfung	12				
		3. Selektion und Aufmerksamkeitslenkung	13				
		4. Synthese und Integration	22				
		5. Interpretation, Klassifikation und Strukturierung	28				
		6. Affektive Färbung	31				
		1.2.2 Faktoren der Bewegungswahrnehmung	32				
		1. Raumkomponente	33				
		2. Kraft- (Anstrengungs-) komponente	37				
		3. Zeitkomponente	40				
		1.2.3 Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung und Konstanzphänomene	46				
		1.2.4 Bildung von Invarianten und verbale Codierung	52				
2	Bewegu	ıngsvorstellung	62				
	2.1	Komponenten und Faktoren der Bewegungsvorstellung	64				
	2.2	Transformation visueller Bilder	68				
	2.3	Neukombination der Bewegungsvorstellung	69				
	2.4	Bewegungsvorstellung als Bewegungsvorausnahme					
	2.5	Bewegungsvorstellung und ideomotorische Phänomene					

3	Literatu	ır	77
	ŀ	Bewegungsvorstellungen75	
	2.6	Motorisches Lernen als Neukombination von	

Vorwort

Die vorliegenden Abhandlungen zur Bewegungswahrnehmung und

Bewegungsvorstellung beziehen sich vorwiegend auf das Bedingungsfeld der körperlichen Bewegung, speziell des Sports und richten sich somit an Sportlehrer, Trainer und Studierende des Faches Sport. Für das erfolgreiche Bearbeiten sind Grundlagenkenntnisse zum Bau des ZNS und der sensorischen Systeme hilfreich, die anhand der Literatur (z.B.: SCHMIDT, R.F.: Medizinische Biologie des Menschen. München 1983, Kap. 9 - 14) erworben werden können. Vertiefungen, die erweiterte Kenntnisse voraussetzen, Erläuterungen, die zum Verständnis nicht unbedingte Voraussetzung sind, sowie interessante Ergänzungen sind in Kleindruck wiedergegeben.

1 Bewegungswahrnehmung

Während einer motorischen Aktivität ist Vielfalt von Meldungen der verschiedensten Modalitäten und Qualitäten vom Zentralnervensystem zu verarbeiten. Beim einem Cross-Lauf gelangen im Zuge eines jeden Laufschrittes Meldungen visuellen, vestibulären und somatosensorischen Ursprungs in ZNS, die einerseits die Folge der Muskelaktionen des Läufers sind und über den Erfolg der Aktionen informieren, die andererseits veränderte und nicht erwartete Umweltbedingungen signalisieren, die das Bewegungsverhalten des Läufers störend oder fördernd beeinflussen können. Nur wenige dieser Meldungen - wahrscheinlich ein verschwindend geringer Teil - werden dem Läufer bewußt, nachdem die Einzelmeldungen auf unterschiedliche Weise verarbeitet wurden. Dieser Bewußtseinsakt, der den zentralnervösen Vorgang der Verarbeitung der Meldungen und Rückmeldungen während einer Bewegung begleitet, soll "Bewegungswahrnehmung" genannt werden.

Die Begriffe "Bewegungswahrnehmung" und "Bewegungsbewußtsein" bedürfen der Erläuterung in mehrfacher Sicht:

1. Die Bewegung, auf den sich der Begriff "Bewegungswahrnehmung" hier und im folgenden bezieht, ist ausschließlich als Eigenbewegung (Eigenmotorik, Idiokinetik, Automotorik) zu verstehen, also als Körper- und Gliedmaßenbewegung, die durch Aktivität des Bewegungsapparates des "Wahrnehmers" (Perzipienten) erzeugt wird. Der Begriff "Bewegungswahrnehmung" müßte demnach konsequenterweise "Eigenmotorik-Wahrnehmung" oder "Eigenbewegungswahrnehmung" oder "Wahrnehmung als Folge von Eigenbewegungen"(in der englischsprachigen Literatur: perception of response feedback) lauten, um ihn von der Wahrnehmung anderer Bewegungen - der Bewegung eines Sportlers, den man beobachtet, oder der erkennbaren Ortsveränderung, die durch das Führen eines PKWs entsteht - abgrenzen zu können. Da diese Begriffskonstruktionen aber zu unhandlich sind, soll am überlicheweise verwendeten Begriff "Bewegungswahrnehmung" festgehalten werden,

wobei er aber **konsequent und ausschließlich** im Sinne der Wahrnehmung im Laufe und als Folge von Eigenbewegung verstanden werden soll. Um an diese Festlegung zu erinnern und um ermüdende Wiederholungen zu vermeiden, soll im folgenden gelegentlich zusätzlich der im übrigen ebenfalls nicht sehr handliche Begriff "eigenmotorische Wahrnehmung" Verwendung finden.

Der Begriff "Bewegung" kann hier **nicht** im rein physikalischen Sinn eingesetzt werden, da in einem solchen Fall eine **Ortsveränderung** des Körpers oder einzelner Körperteile vorausgesetzt werden müßte. Der hier zugrunde gelegte biologische Bewegungsbegriff schließt Aktivitäten des Bewegungsapparates mit ein, die nicht zu äußerlich feststellbaren Ortsveränderungen führen, gleichwohl aber Anlaß zu einer eigenmotorischen Wahrnehmung sein können, (s. Kap. 3.5.2.2).

- 2. Unter dem Begriff "Bewegungswahrnehmung" sollen hier alle Bewußtseinsphänomene zusammengefaßt werden, die als Folge (bzw. als Rückmeldung) von Aktivitäten des Bewegungsapparates des Menschen entstehen, ungeachtet der Frage, ob es sich um bloße Empfindungen irgendwelcher Sinneserlebnisse unterschiedlicher Modalitäten handelt oder aber um solche Bewußtseininhalte, an deren Zustandekommen auch Erkennensprozesse, Urteilsbildungen und emotionale Bewertungen beteiligt sind. Dies erscheint berechtigt, da anzunehmen ist, daß beim Menschen jegliche im Ablauf von Bewegungen einlaufenden Meldungen **zwangsläufig** ein Abrufen von erworbenen Erfahrungen auslösen und diese beim Prozeß der Bewußtwerdung mit verarbeitet werden. Nur unter der Bedingung, daß zutreffende gespeicherte Informationen völlig fehlen, könnten reine Bewegungsempfindungen angenommen werden, so etwa beim Neugeborenen, bei dem sich erst in der weiteren Entwicklung derjenige Erfahrungsschatz aufbaut, der die zur Wahrnehmungsbildung führenden Erkennungsprozesse ermöglicht. (Das Problem der "genetischen Erfahrung" kann hier nicht mitberücksichtigt werden.)
- 3. Aus dem Vorangegangenen wird deutlich, daß im Zusammenhang mit der Besprechung der Bewegungswahrnehmung nicht allein die neurophysiologisch feststellbare Rezeption, Selektion und Interpretation von Reizen oder eine Informationsaufnahme im kybernetischen Sinn, sondern die durch Introspektion erfahrbaren Bewußtseinsinhalte behandelt werden sollen. Da die Besprechung der biologisch-neurophysiologischen Grundlagen der menschlichen Motorik hier darauf abzielt, sowohl die Phänomene des Bewegungslernens bewerten, als auch Strategien zur Analyse und Lehrmethodik sportmotorischer Fertigkeiten entwerfen zu können , erscheint diese Vorgehensweise unerläßlich. Somit erhebt sich die Forderung, klarzustellen, was im folgenden gemeint ist, wenn von "bewußten" Erscheinungen gesprochen wird wenn auch nicht an dieser Stelle ausführlich auf die psychologische Diskussion des Bewußtseinsbegriffes eingegangen werden kann: *Unter Bewußtsein wird ein Zustand der Wachheit des Individiums verstanden, der dazu befähigt, Umweltreize und Körperbefindlichkeiten zu bemerken, sich ihnen zuzuwenden und sie in der Weise zu erleben, daß sie das Wesen des Persönlichen (des persönlich Inneseins) erhalten und daß das Individium darüber einem Partner Mitteilung machen kann oder daß zumindest die Möglichkeit dazu bestehen kann, wenn Anzahl und Art der Zeichen des Kommunikationsmittels das zulassen.*
- 4. Im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von Eigenbewegungen wird in der einschlägigen Literatur häufig der Begriff der Kinästhesie bzw. der kinästhetischen Wahrnehmung verwendet. Allerdings werden diese Begriffe in unterschiedlichster Weise abgegrenzt. So wird teilweise unter kinästhetischer Wahrnehmung diejenige Wahrnehmung verstanden, die aus der Gesamtheit der im Laufe einer Bewegung einlaufenden Meldungen aus den visuellen, vestibulären und somatosensorischen Systemen besteht. In diesem Falle entspricht er dem hier definierten Begriff der Bewegungswahrnehmung. Häufig findet man jedoch eine Eingrenzung der kinästhetischen Wahrnehmung nur auf vestibuläre und somatosensorische Inhalte oder sogar eine Beschränkung ausschließlich auf eine Propriorezeption, also auf Gelenk-, Muskel- und Sehnenspindelmeldungen. Aufgrund dieser Uneinheitlichkeit in der Definition und zur Vermeidung von Mißverständnissen soll der Begriff im folgenden keine generelle Verwendung finden. Sollte er jedoch aus Gründen der Handlichkeit hier und da auftauchen speziell als Adjektiv, weil sich vom Begriff "Bewegungswahrnehmung" kein verwendbares Adjektiv bilden läßt -, ist er im Sinne des hier verwendeten Begriffs "Bewegungswahrnehmung" als Gesamtheit der Wahrnehmung der Reafferenzen im Laufe von Bewegungen zu verstehen. (VOLPERT 1971, CRATTY 1975, LANGE 1976, TEIPEL 1979, FRIEDRICH 1983, HOTZ/WEINECK 1983, RIEDER 1983).
- 5. Seit dem Einzug kybernetischer Betrachtungsweisen in die Bewegunglehre und Sportmethodik wird sehr häufig der Begriff der **Information** verwendet. In den meisten Fällen ist dabei nicht im kybernetischen Sinn eine Mitteilung mit Neuigkeitswert gemeint, sondern der Begriff wird synonym zu Begriffen wie Nachrichten, Reiz, Meldung, Unterrichtung, Nervenimpuls u.a. eingesetzt. In gleicher Weise sollen auch hier die Begriffe

"Information, informieren" u.a. nicht im kybernetischen, sondern im umgangssprachlichen Sinn Verwendung finden.

6. Mit der Besprechung von Wahrnehmungsprozessen wird der Boden der naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise verlassen. Dieser Schritt ist jedoch notwendig, wenn die Verbindung zwischen bewegungstheoretischen Ergebnissen und lehr- und trainingspraktischen Aufgabenstellungen hergestellt werden soll. Bei der Beurteilung mentaler Phänomene wird hier von der Position der Identitätstheorie (bzw. des Identismus), genauer: des neurophysiologischen Monismus, ausgegangen, d.h. es wird angenommen, daß mentale Prozesse (Bewegungswahrnehmung, Bewegungsvorstellung u.a.) identisch sind mit neuronalen Prozessen, daß es keine geistigen Phänomene gibt, die nicht als Korrelat neuronaler Geschehnisse auftreten bzw. daß jedes neuronale Geschehen zumindest die Möglichkeit eines identischen psyschischen Korrelats mit sich bringt. Damit soll der biologisch-neurophysioligsche Ansatz der Arbeit nicht verlassen werden. Da rein neurophysiologische Methoden - derzeit - Wahrnehmungs- und Koordinationsphänomene nur bis zu einer bestimmten Grenze in den Griff bekommen, ist es unumgänglich, mit phänomenologischen Betrachtungsweisen die mentale Seite dieser Geschehnisse anzugehen. Dies soll jedoch nur so weit erfolgen, wie es notwendig erscheint, die Lücken, die die Neurophysiologie offen läßt, zu schließen, um eine Brücke zwischen der physiologischen und psychologischen Sichtweise neuronaler Prozesse zu schlagen. Zusätzlich soll versucht werden, die Behandlung der Bewegungswahrnehmung auf die Besprechung solcher mentaler Phänomene zu beschränken, die die Perzeption, Repräsentation, Rekognition und Rekombination der im Laufe von Bewegung auf den Organismus einwirkenden physikalischer Reize betreffen. Zum Problem der emotionalen Komponenten der Bewegungswahrnehmung wird nur am Rande Stellung genommen. Zu weiteren Studien sei auf die einschlägige physiologische und psychologische Literatur verwiesen. (KEIDEL 1976; KORNHUBER 1978 (b); CRUSE 1979; THOLEY 1980; VOLLMER 1980; RENSCH 1980; POPPER/ECCLES 1982).

Ebene	(äußere) Meldung, Exafferenz	interne Meldung	Rück- meldung (Reafferenz)	interne Rück- meldung	multi- direktionale Meldung	Prozeß
Bewußtsein	•				4444	Wahr- nehmung
ZNS	•			V	**	zentrale Verarbeitung
Körper- peripherie	•				*	Informations- aufnahme
Umwelt			•		•	äußerer Reiz

Abb. 1: Ebenen, Prozesse und Informationstransfer im Laufe der Bildung der Wahrnehmung

Die Voraussetzung für die Bildung der Wahrnehmung allgemein und der Bewegungswahrnehmung im besonderen ist ein multidirektionaler Informationstransfer. Dieser läßt sich in 4 typische Einzeltransfers zerlegen, die in dieser reinen Form in der Regel nicht auftreten, sondern stets eine Kombination mehrerer Einzeltransfers darstellen. Dabei werden maximal 4 Ebenen berührt, die mit 4 Prozessen korrelieren (Abb. 1).

2.1 Körperschema

Eine Voraussetzung für die Bildung von Bewegungswahrnehmung (natürlich auch für die Bewegungskoordination) ist die Bewußtheit der morphologischen und materialen Dimensionen des eigenen Körpers, das Körperschema. Folgende sportpraktische Beispiele sollen die Bedeutung des Körperschemas verdeutlichen: Ein Basketballspieler, der den Basketball um seinen Körper - hinter seinem Rücken von der einen Hand in die andere - kreisen läßt, muß die räumliche Ausdehnung seines Rückens kennen, damit der Ball ohne anzustoßen kreisen kann. Die Gymnastin, die einen gegengleichen Doppelarmschwung vor dem Körper realisiert, berücksichtigt die räumlichen Dimensionen der Arme und des Körpers, so daß diese während der Bewegung nicht miteinander kollidieren. Ein Eishockeyspieler, der sich mit großer Geschwindigkeit auf die Bande zubewegt, führt kurz vor dem Aufprall eine Körperdrehung aus, so daß er mit der Körperrückseite die Bande berührt, weil er die unterschiedliche mechanische Empfindlichkeit (Verletzbarkeit) der verschiedenen Körperpartien erfahren hat. Der Reckturner, der einen Griffwechsel durchführt, weiß um die Reichweite seiner Arme, und der Fußballer, der den Ball erfolgreich mal mit dem Schienbein, mal mit dem Oberschenkel spielen will, muß die unterschiedliche Dämpfungseigenschaft dieser Körperteile kennen.

Unter **Körperschema** wird demnach hier ein zentralnervöser Prozeß verstanden, der genetisches Wissen und erworbene Erfahrungen über räumliche Abmessungen und Oberflächenstrukturen des eigenen Körpers, über Bewegungsamplituden der Gelenke, über Gewebskonsistenzen und Gewebselastizitäten unterschiedlicher Körperabschnitte und über Differenzen der sensorischen Möglichkeiten verschiedener Körperregionen zur Erstellung eines strukturellfunktionellen Abbildes des eigenen Körpers auswertet.

Dieses Konzept stellt eine "weite" Fassung des Körperschemas dar, gegenüber engeren Fassungen, die lediglich die räumliche Abmessung - vorwiegend als visuelles Bild - des eigenen Körpers dem Prozeß der Körperschemas zuordnen. Hier wird jedoch die Auffassung vertreten, daß sich durch den multisensorischen Ursprung der Wahrnehmung des eigenen Körpers derartige Eingrenzungen verbieten. Andererseits darf jedoch nicht übersehen werden, daß dieses erweiterte Verständnis des Körperschemas eine Abgrenzung zu solchen mentalen Prozessen, die zu Positions- und Bewegungswahrnehmung und Bewegungsvorstellungen zu rechnen sind, erschwert.

Wie die eingangs aufgeführten Beispiele zeigen, berücksichtigt das Körperschema als Wahrnehmungs- (und Vorstellungs-)Komponente neben

- räumlichen Ausdehnungen des Körpers auch
- Reichweiten (s.o.),
- Gelenkamplituden (beim Ergreifen eines seitlich hinter dem Körper postierten Gegenstandes dreht man, noch bevor die Reichweite des Armes erschöpft ist, den Rumpf zur entsprechenden Seite mit),
- Tastmöglichkeiten (wer einen kleinen Splitter im Finger manual nicht zu ertasten vermag, führt den Finger zur exakteren Identifizierung des Splitters über die Lippen),

- Schmerzempfindlichkeiten (barfuß spielt man einen schweren Ball unwillkürlich nicht mit der Fußspitze, sondern mit dem Innenspann) und
- Oberflächenfestigkeit (man klopft mit dem Fingerknöchel, nicht mit der Fingerbeere an eine Tür).

Zu den angeführten Beispielen aus dem Alltag lassen sich leicht entsprechende Beispiele aus der Sportpraxis finden. Ebenso wird deutlich, daß die Wahrnehmungs- und Vorstellungsinhalte über den eigenen Körper im Laufe von Bewegungen eine besondere Rolle spielen. Dadurch wird verständlich, wie eng die Bewegungswahrnehmung mit dem Körperschema verknüpft ist.

Da die somatosensorische Wahrnehmung - speziell die taktile und die nozizeptive Komponente - durch direkten Kontakt des Körpers mit der mechanischen Umwelt zustande kommt, wird die Abgrenzung des Körperschemas von der Umwelt bzw. seine mögliche Einbindung in diese verständlich. Das wird besonders deutlich am Beispiel der Kleidung, die einerseits an das Körperschema angegliedert (einverleibt) empfunden, ober aber - wie beim erstmaligen Tragen eines neuen Kleidungsstückes oder beim Tragen nasser Kleidung oft bewußt erlebt wird - als "körperfremd" erkannt werden kann. Oft genügt eine besondere Aufmerksamkeitslenkung, um auch gewohnte Kleidungsstücke als nicht zum Körper zugehörig empfinden zu können.

In der Arbeitswelt und in der Sportpraxis kann häufig eine Ausweitung des Körperschemas durch die Gewöhnung in der Handhabung eines Werkzeuges oder Sportgerätes beobachtet werden. Wer zum ersten Mal Skischuhe anzieht und diese zusätzlich noch an Ski befestigt und - derart ausgerüstet - versucht, sich durch Schritte oder durch Hangabwärtsgleiten fortzubewegen, wird sowohl Ski als auch Skischuhe als störende körperfremde Hindernisse empfinden, und es bedarf langer, intensiver Übung, bis das Sportgerät als dem Körper angegliedert (als ein zusätzliches Körperglied) empfunden wird. Doch selbst nach Erreichen dieser Könnensstufe kann immer wieder einmal eine überraschende Situation auftreten, in der die Dimension des Sportgerätes nicht korrekt berücksichtigt wurde, die Ski die Bewegungen des Sportlers eher störend beeinflussen und dieser die Ski als nicht zum Körper gehörig wahrnimmt, sie also - allerdings nur für die betreffende Situation - aus dem Körperschema ausgliedert.

Entsprechende Eingliederungen von Sportgeräten in das Körperschema zeigen Beobachtungen und Eigenerlebnisse z.B. beim Tennisspiel, Stelzenlaufen und sogar beim Radfahren und Reiten, wo sich nach angemessener Übungszeit und bei entsprechendem Fertigkeitsniveau der Eindruck des "Verwachsenseins" mit dem Sportgerät einstellen kann. Diese mentale Einverleibung des Sportgeräts ist jedoch nicht absolut, sondern kann durch Störung von außen oder aber auch endogen - z.B. durch Aufmerksamkeitslenkung - unterbunden oder unterbrochen werden.

Mentales Abgrenzen und Anbinden des Körpers von der bzw. an die Umwelt hat überall dort eine Bedeutung, wo der sich Bewegende Kontakt mit der Unterlage hat bzw. diesen Kontakt aufgibt. Im festen Stand mit beiden Beinen auf dem Boden bilden die Beine zusammen mit dem Boden eine geschlossene 6-gliederige kinematische Kette, deren Bewegungsfreiheit - neben morphologischen Bedingungen - einerseits durch den Kettenschluß und andererseits durch die limitierende Wirkung der Schwerkraft reduziert wird. Zusammen mit der Abnahme der Bewegungsfreiheit steigt jedoch die Standfestigkeit bzw. die "Anbindung" des Körpers an die Standfläche. Die Rezeptoren, die diese Anbindung identifizieren und damit für den Eindruck der Standfestigkeit und Standsicherheit verantwortlich zeichnen, sind die Druckrezeptoren des Fußes, die Gelenkrezeptoren der gesamten unteren Extremitäten und - möglicherweise - auch die vestibulären Rezeptoren. Die Wirkung der Wechselbeziehung von Standfestigkeit und Körperschema wird bei einem Eisläufer deutlich, der sich zum ersten Mal mit Schlittschuhen auf das Eis begibt, aber ebenso, wenn man auf festem Boden den beidbeinigen Stand aufgibt und einen einbeinigen Stand einnimmt. Im zweiten Beispiel geht der untere Körperabschnitt vom Zustand der geschlossenen kinematischen Kette in den Zustand einer siebengliedrigen offenen kinematischen Kette über, verbunden mit der Zunahme an Freiheitsgraden und einer Abnahme der Standfestigkeit. Innerhalb des Körperschemas geht damit der Eindruck der Standsicherheit verloren.

Die morphologischen Dimensionen des Körpers werden in denjenigen Situationen besonders konzentriert ins Bewußtsein gehoben, in denen sich der Körper verletzen kann, etwa bei einem Sturz nach vorn, beim Agieren des Torwarts in der unmittelbaren Nähe des Torpfostens, oder beim Auffahren des Eishockeyspielers auf die Bande. Dabei konzentriert sich das Bewußtsein unter Umständen auf eng umschriebene Körperabschnitte. Bei der Stützkehre am Barren versucht der Sportler, im oberen Körperabschnitt mit den Armen eine möglichst sichere Anbindung an das Gerät herbeizuführen, während er im Bereich der Beine und Füße den Körper vom Gerät abzugrenzen versucht, um ein Touchieren der Holme mit den Füßen zu vermeiden.

Die Beispiele aus der Alltagsmotorik und der Sportpraxis zeigen, daß die Entwicklung des Körperschemas u.a. von den täglichen Erfahrungen im Laufe der körperlichen Entwicklung abhängig ist. Wesentliche Informationen liefern dazu vornehmlich das somatosensorische System, speziell die Tast- und Schmerzwahrnehmung. Das läßt sich aus der Beobachtung ablesen, daß die verschiedenen Köperabschnitte sowie ihre räumlichen Abgrenzungen und funktionellen Möglichkeiten in unterschiedlicher Gewichtung im Körperschema präsent sind. Die Hand wird raumschärfer bewußt als der Rücken, vergleichbar mit der unterschiedlichen Repräsentation der Körperabschnitte auf der primären somatosensorischen Hinrinde.

Welche Beteiligung zum Aufbau des Körperschemas dem visuellen und dem vestibulären System zukommt, wird noch diskutiert. Gleiches gilt für die Bedeutung von Informationen über die Gelenkstellung und Gelenkbewegung sowie von angeborenen Verrechnungsmechanismen. Zu diesem Problemkomplex einige Befunde und Überlegungen:

1. Es wird berichtet, daß Patienten mit Amputationen gelegentlich Empfindungen im nicht mehr vorhandenen Körperteil registrierten, als wäre dieses noch wirklich vorhanden. Diese Empfindungen stellen meistens Schmerzen (= "Phantomschmerz") dar. Doch es wird auch von Berührungsempfindungen an Phantomgliedern oder sogar von Bewegungsempfindungen gesprochen. Da diese Phantomgliedempfindungen bei visueller Kontrolle nicht verschwinden, wird die Beteiligung des visuellen Systems am Körperschema in Frage gestellt. Im Gegensatz dazu kann das Fehlen einer neuronalen Kommunikation zwischen Körperteil und Zentralnervensystem dazu führen, daß dieser Körperteil völlig aus dem Körperschema ausgegliedert, als nicht zum eigenen Körper zugehörig empfunden wird. Der englische Nervenarzt. O. SACKS (1989) berichtete von einer Beobachtung am eigenen Leibe, nach einem erlittenen Muskelriß am Bein in Verbindung mit einer Nervenverletzung mit Unterbrechung jeglicher Afferenzen habe sich das Gefühl eingestellt, ein ihm fremdes

Bein läge in seinem Krankenbett, ein Gefühl, dem auch mit visueller Kontrolle und logischer Überprüfung nicht beizukommen war.

- 2. Andererseits läßt sich jedoch feststellen, daß sich neben somatosensorischen "Bildern" auch visuelle Bilder vom eigenen Körper produzieren lassen, auch von Körperabschnitten, die sich visuell nicht analysieren lassen. Das visuelle Vorstellungsbild kann sich sogar aus einer "Blickrichtung" aufbauen, aus der man den eigenen Körper niemals real gesehen hat. Zusätzlich kann im Rahmen des Körperschemas das jeweilige Bewußtseinsbild von einer Modalität in die andere übersetzt werden. Ein Abtasten des Rückens kann auf dem Weg über ein "Tastbild" in ein visuelles Bild transformiert werden. Für das visuelle Bild des Fußes ist ein korrespondierendes Tastbild abrufbar. Diese Beobachtungen sprechen für visuelle Komponenten in den zentralnervösen Mechanismen des Körperschemas oder zumindest für eine enge Anbindung der Mechanismen, die für das Körperschema verantwortlich zeichnen, an visuelle Mechanismen.
- 3. Häufig entspricht das Körperschema nicht in allen Teilen den realen Körperdimensionen. Solche Abweichungen sind teils dadurch erklärbar, daß sich Körperproportionen im Laufe des Lebens verändern, etwa bei Fettsucht oder bei Verformungen der Wirbelsäule und Buckelbildung, teils dadurch, daß unbewußt Idealvorstellungen und Idealbilder in das Körperschema mit eingebracht werden. Diese Abweichungen sollen vor allem die visuellen Bilder des eigenen Körpers betreffen. Andererseits könnten angeborene zentralnervöse Mechanismen ein allgemeines Grundschema vorgeben, auf das sich das individuelle Körperschema aufbaut.
- 4. Die Hypothese von angeborenen Mechanismen zum Körperschema werden auch durch die Phänomene der Phantomglieder (s.o.) gestützt. Insbesondere Beobachtungen, daß Kinder mit angeborenen Extremitätendeformationen (z.B. bei fehlenden Händen) auch Gliedmaßenphantome (Handphantome) zeigten, spricht letzten Endes für eine angeborene Komponente im zentralnervösen Mechanismus des Körperschemas.
- 5. Die Beteiligung der Gelenkstellungsrezeptoren am Zustandekommen des Körperschemas wird durch folgende Beobachtungen in Frage gestellt: Bei entspannter Lage in einem warmen Wannenbad, aber auch bei einer absoluten Ruhelage während einer Fiebererkrankung kann bei geschlossenen Augen der Zweifel aufkommen, ob man noch im Besitz von Armen und Beinen, Händen und Füßen ist. Sobald jedoch die geringste Tastempfindung durch leichte Wasserbewegung oder durch Druckänderung der Bettdecke auftreten, sind die Zweifel verschwunden und der Körper wieder in seiner kompletten Ausdehnung im Bewußtsein. Letzteres muß als Indiz für die führende Rolle der Oberflächensensibilität bei der Abgrenzung des Körperschemas gewertet werden.
- 6. Selbst Täuschungen lassen sich im Rahmen des Körperschemas beobachten. Unter dem Einfluß von Drogen aber auch bei Erkrankungen, speziell bei Fiebererkrankungen und im Zustand körperlicher Erschöpfung kann der Eindruck angeschwollener Gliedmaßen oder eines deformierten Kopfes oder Leibes entstehen. Auch diese Täuschung muß in die Zuständigkeit der Oberflächensensibilität gestellt werden.

(AUERSPERG 1960; POECK/ORGASS 1964; PLÜGGE 1970; WIEGERSMA 1973: BAUMANN 1974; RÜSSEL 1976; SCHMIDT/THEWS 1977).

1.2 Wahrnehmung von Körperposition und Körperbewegung

Für die Wahrnehmung von Eigenbewegungen gilt, was für die Wahrnehmung allgemein gültig ist: Von wenigen genetischen Grundfunktionen abgesehen hat der Mensch alles, was er weiß - über die Umwelt, über die Mitmenschen, über sich selbst bzw. über seinen eigenen Körper - , durch Wahrnehmung erfahren. Die sensorischen Systeme empfangen Reize aus der Umwelt und aus dem eigenen Körper, leiten sie dem ZNS zu, in dem nach einem Verarbeitungsprozeß, auf den im folgenden genauer eingegangen werden muß, die Wahrnehmung gebildet wird. Dieser Prozeß der Wahrnehmungsbildung im ZNS wird selbst nicht bewußt, lediglich das Endprodukt dieses Prozesses wird - obwohl es ein neuronales Schaltmuster im ZNS darstellt - als ein Ereignis erlebt, das außerhalb des ZNS stattfindet,

etwa außerhalb des Körpers, oder - wie es für die Bewegungswahrnehmung eher zutrifft - an der Kontaktstelle zwischen Körper und Umwelt bzw. im Körper selbst.

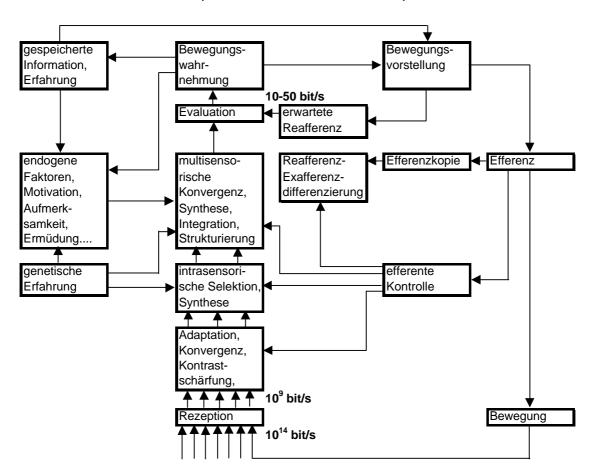


Abb. 2: Informationsfluss, Informationsreduktions, -kontrolle und -verarbeitung im Prozess zur Wahrnehmungsbildung

Wahrnehmung ist jedoch keine exakte Wiedergabe weder der Umwelt noch des eigenen Köpers und seines Verhaltens, sondern ein Abbild mit Tönungen, Färbungen, Auslassungen, Überzeichnungen und Abstraktionen, bedingt dadurch, daß die auf die Wirkung von Reizen gebildeten Meldungen der Rezeptoren auf ihrem Weg zu denjenigen Stationen des Gehirns, die für die Bewußtseinsbildung verantwortlich sind, vielfache Verarbeitungsmechanismen durchlaufen müssen. Diese Mechanismen haben sich im Laufe der Evolution herausgebildet, wobei sie in den jeweiligen Evolutionsschritten einen biologischen Sinn besaßen. Nachdem sie sich einmal als zweckmäßig erwiesen hatten, wurden sie - unerreichbar für spätere evolutionäre Einflüsse - bleibend in das Funktionsrepertoire des Organismus installiert.

Als Verarbeitungsmechanismen der Sensorik müssen besonders **Adaptation**, **Kontrastschärfung**, **Selektion**, **Synthese** und **Integration** genannt werden (Abb. 2). Diesen Funktionen kommt innerhalb der verschiedenen Wahrnehmungsmodalitäten unterschiedliche Gewichtung zu. Zur Wahrnehmung von Eigenbewegung spielen Selektion und multisensorische Synthese eine besondere Rolle, was durch die Tatsache begründet wird, daß an der Bildung der Bewegungswahrnehmung nicht nur verschiedene Modalitäten der Somatosensorik beteiligt sind, sondern auch noch Modalitäten des visuellen und vestibulären

Systems. Damit unterscheidet sich die visuelle Wahrnehmung bewegter Objekte grundsätzlich von der Wahrnehmung von Eigenmotorik, die immer eine multisensorische (bzw. multimodale) Wahrnehmung ist.

Beobachtet der Trainer die Bewegungen eines Schülers, dann erkennt er den Gesamtkörper bzw. einzelne Körperteile als bewegt, wenn sich Ortsveränderung in bezug zu einer als ruhend angesehenen Umwelt (oder in bezug zu irgendeinem anderen als ruhend angesehenen Koordinationssystem) visuell registrieren lassen. Das visuell erfaßbare Phänomen Bewegung rekrutiert sich aus den Faktoren Raum und Zeit. Nimmt ein Sportler an sich selbst Bewegung (besser: Eigenbewegung) wahr, so kann er dabei recht unabhängig sein von äußeren Bezugssystemen irgendwelcher Art. Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen: Der Reisende in der Eisenbahn kann unter bestimmten Bedingungen nur dann erkennen, daß er sich - zusammen mit dem Eisenbahnwaggon - bewegt, wenn er sein Verhalten visuell mit der als ruhend angesehenen Umwelt vergleicht. Dieser Vergleich ist für die Wahrnehmung von Eigenbewegung von untergeordneter Bedeutung. Dreht man einen mit Daumen und Zeigefinger gehaltenen Stift um seine Längsachse hin und her, kann man recht einfach feststellen, daß der Vergleich der Positionsänderungen der Gliedmaßen zueinander bei der Bewegungswahrnehmung eine geringe Rolle spielt: Obwohl man an sich selbst Bewegung feststellt, ist der Eindruck, wie sich die Fingerglieder gegeneinander bewegen, recht verschwommen und indifferent bzw. man kann keine exakten Aussagen darüber machen, wie sich die Gliedmaßen oder Gliedmaßenabschnitte zueinander bewegen, sofern man dies nicht visuell kontrolliert. Statt dessen stehen die Tastempfindungen (Eindrucktiefe, räumliche Verschiebung des mechanischen Druckes ...) zwischen Finger und Stift im Vordergrund, indem man wahrnimmt, wie der Bleistift mit seinen Kanten an der Oberfläche der Finger entlangrollt. In ähnlicher Weise läßt sich im Laufe sportmotorischer Fertigkeiten feststellen, daß die Intensitäten von Druck- bzw. Kraftänderungen in der Bewegungswahrnehmung eine bedeutendere Rolle spielen als Positionsänderungen relativ zu Bezugsgrößen bzw. Bezugssystemen. Offensichtlich scheint bei der Bewegungswahrnehmung - wohlgemerkt im Sinne der vorn diskutierten Wahrnehmung von Eigenbewegungen - diejenigen physikalischen Zusammenhänge im Vordergrund zu stehen, die sich durch die Gesetzmäßigkeit der Mechanik

$$F * t = m * (v_2 - v_1)$$

(Die Größe des Kraftstoßes entspricht der Änderung der Bewegungsgröße) beschreiben lassen.

Damit wird auch deutlich, daß der Organismus Bewegung nicht im Sinne der EINSTEINschen Mechanik, sondern im Sinne der NEWTONschen Mechanik wahrnimmt - ein Grund dafür, daß in der Geschichte der Physik zuerst die Gesetzte der NEWTONschen Mechanik formuliert wurden, und daß dem Nichtphysiker die NEWTONsche Mechanik "anschaulicher" erscheint als die Mechanik EINSTEINs.

(METZGER 1966; MURCH/WOODWORTH 1978)

1.2.1 Funktionen und Mechanismen zur Bildung der Bewegungswahrnehmung

Im wachen Zustand strömen schon bei völlig ruhiger Körperlage auf die sensorischen Systeme des Menschen eine Vielzahl von Reizen ein, die vornehmlich Seh-, Hör- und Tastreize darstellen. Gibt der Organismus die ruhige Position auf und versetzt sich in Bewegung, vermehren sich die Reize um ein Vielfaches, wobei vor allem die Seh- und Tastreize sich erweitern und zusätzlich sich Reize der Tiefensensibilität und des Gleichgewichts dazu addieren.

Es wird angenommen, daß die Sinnesorgane mit einer Informationsflut von 10¹⁴ (100 Billionen) bit/s bombardiert werden, die "Enge" des Bewußtseins aber nur eine Aufnahme von 10-50 bit/s an Informationen zuläßt. Selbst wenn man berücksichtigt, daß der potentielle Informationsfluß durch die Rezeptoren "nur" rund 10⁹ bit/s beträgt (die Angaben in der Literatur streuen von 10⁶ -10¹¹ bit/s), ist eine Informationsverdichtung bzw. Informationsreduktion noch in einer Größenordnung von 1 : 20 Millionen notwendig. Diese Informationsreduktion wird vor allem durch die Mechanismen der peripheren und zentralen Adaptation und der Selektion, aber auch durch verschiedene andere neuronale Funktionssprinzipien bewirkt:

1. Adaptation: Schon an manchen Rezeptoren der Körperperipherie läßt sich bei längerer Reizdauer eine Anpassung (Adaptation) der Rezeptorreaktion an die Reizstärke feststellen. Auf einen konstanten Reiz entlädt die afferente Nervenfaser des Rezeptors nicht in konstanter Frequenz über die gesamte Reizdauer. Statt dessen nimmt die Amplitude des Rezeptorpotentials eine kurze Zeitspanne nach Reizbeginn mehr oder weniger deutlich ab. Als Folge davon reduziert sich auch die Entladungsfrequenz der afferenten Nervenfaser und kann sogar völlig verschwinden. Das bedeutet, daß die Sinnesmeldungen die physikalische Welt nicht absolut proportional abbilden. Eine Information über Absolutwerte wird zugunsten der Betonung von relativen Unterschieden aufgegeben. Der biologische Vorteil liegt darin, daß die Sinne auch bei Dauerreizung arbeitsfähig bleiben bzw. daß die Rezeptoren in der Lage sind, auch bei neuerlichem Reizanstieg wieder optimal reagieren zu können. Offensichtlich ist die Meldung von simultan und sukzessiv auftretenden Intensitätsunterschieden für ein an das Leben in der physikalischen Umwelt angepaßtes Verhalten bedeutungsvoller als das Melden absoluter Intensitäten.

Allerdings passen sich die Rezeptoren der verschiedenen sensorischen Systeme unterschiedlich stark an. Während Muskel- und Sehnenspindeln den Reiz nahezu proportional abbilden (was aus der Funktion dieser Rezeptoren verständlich erscheint, adaptieren die Tastrezeptoren sowie auch die Lichtrezeptoren recht schnell: Ein auf eine Lichtsinneszelle auftreffender Dauerreiz wird schon nach wenigen Sekunden nicht mehr weitergemeldet. Für Tastrezeptoren liegt dieser Wert im Bereich von mehreren Minuten.

Zusätzlich zur peripheren Adaptation werden in verschiedenen Schaltstationen des ZNS, z.B. im Rückenmark, in den Hinterstrangkernen und im Thalamus die Afferenzen durch effe-

rente Kontrolle in der Weise beeinflußt, daß konstant anhaltende Meldungen weggehemmt werden (**zentrale Adaptation**). Diese Unterdrückung konstanter Impulse beginnt für Hautund Gelenkrezeptoren beispielsweise im Rückenmark schon nach 20-30 ms durch präsynaptische Hemmung. Dadurch bleiben die höheren Zentren der sensorischen Systeme frei für die Aufnahme von Reizänderungen, d.h. für die Entdeckung von Neuigkeiten.

Im Rahmen der Wahrnehmung von Körperposition und Körperbewegung scheint auf den ersten Blick die Adaptation vornehmlich bei der Positionswahrnehmung eine Rolle zu spielen, da hier bestimmte Reizsituationen über längere Zeit konstant bleiben. Besonders durch die Wirkung der peripheren Adaptation kann der Organismus vor einem Großteil der Dauerreize bewahrt werden. Aber offensichtlich kommt der Adaptation auch im Laufe von Körperbewegungen eine nicht unbeträchtliche Bedeutung zu. Man verdeutliche sich die Menge der während eines Dauerlaufes eintreffenden Reize: Das Abbild der Umwelt auf der Netzhaut verschiebt sich kontinuierlich, die Vestibularorgane werden bei jedem Schritt durch Auf- und Abwärtsbeschleunigen des Kopfes neuerlich gereizt, aus dem Bereich der Gelenkrezeptoren werden ständig Änderungen der Stellung, der Bewegungsrichtung und der Bewegungsgeschwindigkeit gemeldet, gleiches gilt von den Tastrezeptoren, speziell von denen der Fußsohle, aber auch von den übrigen Körperregionen, wo Kleidung an der Hautoberfläche reibt, sich Gliedmaßenabschnitte berühren, Hautverschiebungen durch Gelenkwinkeländerungen auftreten, und von den Dehnungs- und Spannungsrezeptoren der vielen beteiligten Muskeln. Da in diesem Beispiel kaum konstante Reize auftreten, diese auch nur im Rahmen der Tastund Lichtrezeptoren durch periphere Adaptation abgeblockt werden, kann daraus die Bedeutung der zentralen Reizreduktion abgelesen werden. Wenn zusätzlich der Dauerlauf nicht unter konstanten äußeren Bedingungen (Laufbahn), sondern in unebenem Gelände praktiziert wird, besteht die Aufgabe, diejenigen Zentren des Nervensystems, an deren Funktion die bewußte Wahrnehmung gekoppelt ist, von überflüssigen Meldungen freizuhalten, um die Störwirkungen des Geländes auf den Ablauf der Bewegungen rechtzeitig analysieren zu können.

Die zentrale Adaptation ist im Zusammenhang mit der Aufgabe der Selektion der Meldungen durch Aufmerksamkeitslenkung zu sehen, die weiter unten besprochen werden soll.

(KORNHUBER 1965; KOHLER 1966; DELHEES 1978; KORNHUBER 1978 b)

2. Konvergenz und Kontrastschärfung: Eine weitere Reduktion der auf den Organismus einströmenden Reize erfolgt durch die Funktion der rezeptiven Felder. Hier fließen die Afferenzen der Rezeptoren kleinerer oder größerer Rezeptorengruppen auf eine einzelne Faser oder auf ein einzelnes nachgeschaltetes Neuron oder auf wenige nachgeschaltete Neuronen zusammen. Dies könnte bedeuten, daß diese sogenannte Konvergenz großer Rezeptorengruppen zu einer Unschärfe in der Wahrnehmung führt. Durch die Tatsache jedoch, daß sich die rezeptiven Felder in der Regel überlappen und daß sie durch die Verschaltung der lateralen Hemmung antagonistisch organisiert sind, bleibt eine hinreichend exakte Auflösung

der äußeren Reize gewährleistet, wobei zusätzlich durch eine Kontrastschärfung das Wesentliche herausgehoben und das Unwesentliche unterdrückt wird.

Während die **Adaptation** die Proportionalität der Abbildung von **sukzessiver** Reizung beeinträchtigt, hat die **Kontrastschärfung** eine nicht streng proportionale Abbildung **simultaner** Reize zur Folge. Bei eng umschriebenen Reizen wird das Zentrum, bei "flächig" ausgedehnten Reizen die Grenzzone zwischen erregten und unerregten Bereichen überbetont abgebildet. Zum Beispiel wird bei einem Druck eines spitzen Gegenstandes auf die Haut nur der Druck der Spitze wahgenommen, nicht jedoch die zwangsläufige Verformung der Haut in unmittelbarer Nachbarschaft der Spitze. Die Folge ist die Möglichkeit zu einer exakteren Lokalisation und schärferen Abgrenzung des Reizes bzw. des Reizortes

Die Kontrastschärfung spielt bei der visuellen Wahrnehmung und - was für die Bewegungswahrnehmung wichtiger ist - bei der taktilen Wahrnehmung eine besondere Rolle. Exakte Identifizierung der Druckreize z.B. an der Fußsohle beim Lauf über unebenes Gelände ermöglicht eine Analyse der Störgrößen auf die aufrechte Haltung während des Laufes. In gleicher Weise meldet eine raumscharfe Abgrenzung der Druckreize an der Fußsohle sowohl den Erfolg des Kanteneinsatzes und den Grad der Vor- bzw. Rücklage beim Skilauf als auch die korrekte Richtung der Beinstreckbewegung im Ablauf eines Kugelstoßes, eines Hochoder Weitsprunges oder eines turnerischen Sprunges vom Boden, vom Reutherbrett oder vom Trampolin. Die exakte Lokalisation der Kontaktstelle des Balles mit der Köperoberfläche ist maßgeblich am Erfolg beispielsweise eines Spannstoßes oder Kopfstoßes im Fußball oder eines unteren Zuspiels im Volleyball beteiligt, ebenso wie die Registrierung der Druckverteilung in der Handfläche über die Zielgenauigkeit eines Korbwurfes im Basketball oder eines Vorhandschlages im Tennis entscheidet. Die Beispiele ließen sich beliebig fortsetzen. (KEIDEL 1976; KORNHUBER 1978 b: HORN 1980; SCHMIDT/THEWS 1984).

Verantwortlich für die Kontrastschärfung ist die neuronale Verschaltung der lateralen Hemmung: Mittels hemmender Schaltneurone ist der hemmende Einfluß stark erregter Neurone auf schwach erregte Neurone der Nachbarschaft groß, während letzere nur einen schwachen hemmenden Einfluß auf die benachbarten Neurone ausüben können. Konvergenz existiert in ZNS sowohl als erregende als auch hemmende Verschaltung. Neben der Konvergenz durch Bildung rezeptiver Felder und durch den Mechanismus der Kontrastschärfung muß - speziell beim Menschen - eine Konvergenz der Meldungen verschiedener Modalitäten auf der Ebene der Assoziationsrinde des Großhirns berücksichtigt werden. Diese multimodale Konvergenz soll jedoch weiter unten im Abschnitt zur multimodalen Synthese besprochen werden.

3. Selektion und Aufmerksamkeitslenkung: Wahrnehmung ist kein passiver Vorgang im Sinne einer bloßen Rezeption von Reizen oder einer "mechanischen" Konvergenz oder Hemmung von Meldungen, wie es nach den bisherigen Ausführungen über Adaptation und Konvergenz vermutet werden könnte.

Statt dessen setzt Wahrnehmung einen dynamischen Prozeß voraus, der sowohl die Auswahl der Reize als auch die Art der Verknüpfung der Afferenzen mit gespeicherten Informationen betrifft. Für die Selektion der für die Wahrnehmungsbildung zu verwertenden Afferenzen sind zwar auch die vorn beschriebenen Mechanismen verantwortlich, hier soll jedoch die Art der

Selektion besprochen werden, die unter Beteiligung des Bewußtseins, also durch gezieltes Richtunggeben des Bewußtseins abläuft.

Die Erscheinung, daß das Bewußtsein einen gesteigerten Zustand in der Klarheit und Deutlichkeit des Erfassens von Reizen oder Reizkonstellationen zeigen kann, soll Aufmerksamkeit genannt werden, der Vorgang der Auswahl der dem Bewußtsein zugeführten Reizkonstellationen aus dem gesamten Reizangebot heißt Aufmerksamkeitslenkung.

Daraus ergeben sich zwei Komponenten der Aufmerksamkeit, nämlich die Intensität und die Selektivität. Die Notwendigkeit einer Bewußtseinsintensivierung liegt in der biologisch bedeutsamen Aufgabe begründet, bei unbekannten und überraschend neuen Reizen den Wachheitsgrad des Organismus zu steigern, um den Wert bzw. die Bedeutung der Informationen für den Organismus abschätzen zu können, damit das weitere Verhalten möglichst unverzüglich auf die neue Reizsituation eingestellt werden kann. Die Notwendigkeit der Bewußtseinsfokussierung durch Aufmerksamkeitslenkung ergibt sich aus dem Unvermögen des Bewußtseins, innerhalb einer kurzen Zeitspanne, dem physiologischen Augenblick von rund 120 ms (genannt wird auch eine Zeitspanne von 180 ms), mehr als nur eine Reizkonstellation zum Inhalt zu haben.

Über zeitliche Komponenten in der Bewegungswahrnehmung wird in Kap. 1.2.2, Nr. 3 ausführlich gesprochen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß als physiologischer Augenblick (auch: psychologischer Augenblick) diejenige kürzeste Zeistspanne angesehen wird, in der der Mensch ein bewußtes Erlebnis, einen Erkenntnisvorgang oder auch die Wahrnehmung eines Bewegungsphänomens zu produzieren vermag. Es ist anzunehmen, daß es dem Bewußtsein erst nach Ablauf dieser Zeitspanne möglich ist, sich einem nächsten Wahrnehmungsinhalt zuzuwenden. (SCHALTENBRAND 1969, KEIDEL 1970)

3.a Mechanismen der Selektion: Beim Laufen über unebenen Boden kann der Sportler nicht bewußt die Unebenheit des vor ihm liegenden Weges visuell zu erfassen versuchen und gleichzeitig (d. innerhalb der Zeitspanne eines physiologischen Augenblicks) die Druckreize an seiner Fußsohle analysieren, die von einem Tritt auf einen Stein herrühren, ganz zu schweigen von einer bewußten Wahrnehmung der übrigen durch die Laufbewegung erzeugten Reize (s.v.) - auch wenn sich sein Bewußtsein auf einem noch so hohen Erregungsniveau befindet. Zwangsläufig muß der Organismus bzw. sein ZNS sich entscheiden, welcher Reiz den höheren Neuigkeitsgehalt bzw. den größeren Informationswert besitzt, auf welchen Reiz also die Aufmerksamkeit zu richten ist (Abb. 3).

Die Neuigkeitsentdeckung ist natürlich nicht möglich ohne Vergleich der einlaufenden Reize mit gespeicherten Reizkonstellationen. Trifft also ein Reiz oder eine Reizkombination im ZNS ein, so wird der Vergleich mit gespeicherten Reizkonstellationen Auskunft über den Neuigkeitswert des Reizes geben.

Für die Bewertungsfunktion einlaufender Reize wird das "Motivationssystem" verantwortlich gemacht, das aus dem limbischen System in Zusammenschluß mit der assoziativen Rinde des Scheitellappens besteht. Stellt sich

ein hoher Neuigkeitswert heraus, wird einerseits durch das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem (ARAS) die Aufmerksamkeit intensiviert, falls der vorherrschende Intensitätsgrad der Aufmerksamkeit nicht ausreicht, und - wieder unter Verantwortung des Motivationssystems - auf die als neu erkannte Reizkonstellation konzentriert. Die Konzentration bedeutet physilogisch eine Förderung der ausgewählten Afferenzen und ein Hemmung der übrigen Afferenzen durch die aus zahlreichen Hirnstrukturen absteigenden Bahnen der efferenten Kontrolle (Kap.) zum Thalamus, zu den Hinterstrangkernen und in das Rückenmark. Zusätzlich können durch entsprechende Reaktionen (Orientierungsreaktionen) die Sinnesorgane auf den neuen Reiz ausgerichtet und mit der Exploration der neuen Situation begonnen werden.

Die Neuigkeitsentdeckung und Reizselektion kann neben Mechanismen des Vergleiches mit gespeicherten Informationen auch auf "niedrigerem" Integrationsniveau des ZNS erfolgen, und zwar durch angeborene Mechanismen z.B. in der Formatio reticularis. In diesem Fall werden die Filterprozesse "passiv" genannt.

Durch die Beteiligung des limbischen Systems kann die Reizselektion in stärkerem oder schwächerem Maß stimmungs- und affektabhängig sein, so daß die Evaluation der Afferenzkonstallationen bei unterschiedlichen endogenen Befindlichkeiten des Organismus zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Als "höchstes" Integrationsniveau wird die assoziative Großhirnrinde und die Rinde des Stirnlappens für die "aktive", "willentliche" oder "rationale" Aufmerksamkeitslenkung verantwortlich gemacht.

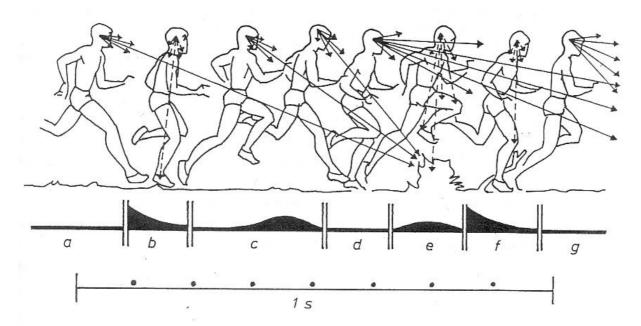


Abb. 3: Verdeutlichung unterschiedlicher Aufmerksamkeitslenkung beim Cross-Lauf Die Pfeile sollen die Richtung und die Streuung der Aufmerksamkeit darstellen (nicht zu verwechseln mit Blickrichtung!). Die *Richtung* der Pfeile soll andeuten, daß sich die Reize nicht aufdrängen, sondern vom Sportler aktiv ausgewählt werden. Engere und weitere *Streuung* der Pfeile soll unterschiedliche Grade in der Fokussierung der Aufmerksamkeit verdeutlichen. Ausgezogene Pfeile weisen auf visuelle, gestrichtelte Pfeile auf somatosensorische Reize hin. Die Zeile unter den Figuren gibt angenommene Abschnitte unterschiedlicher Aufmerksamkeitszuwendung, die Stärke des Linienzuges unterschiedliche Aufmerksamkeits*intensität* wieder. Die untere Zeile verdeutlicht den Zeitabschnitt von 1 s. Die Punkte auf der Sekundengeraden grenzen annähernd den Zeitabstand je eines physiologischen Augenblicks ein. Es soll damit angedeutet werden, daß die Phasen, in denen die Aufmerksamkeit auf einem einzelnen "Brennpunkt" verweilt, nie kürzer als die Spanne eines physiologischen Momentes sein können.

Die Aufmerksamkeit richtet sich in den einzelnen Abschnitten auf

a) und c) ein visuell erfaßbares Hindernis,

b) eine intensive Drucksituation am Fuß durch Bodenunebenheit,

d) und g) die entferntere Umgebung,

- e) das Verhalten des Schwungbeines in bezug zum Hindernis,
- f) einen überraschenden Stoß gegen das Stützbein.

In jedem Fall muß die Reizselektion im Sinne der Aufmerksamkeitslenkung als ein aktives Prozessieren des Organismus angesehen werden. Auch wenn der Eindruck entstehen kann, der eine oder andere Reiz würde sich dem Wahrnehmenden "aufdrängen", so entscheidet doch das ZNS aufgrund der Motivationslage des Wahrnehmenden, die sich auch in der "Einstellung" auf spezifische Umweltsituationen zeigt, welcher Einzelreiz aus dem Gesamtangebot herausgehoben wird. So verdrängt der Fußballer die Beifallsgeräusche der Zuschauer "in den Hintergrund" und hört klar und deutlich den Zuruf des Mitspielers. Dieselbe Situation - auf Tonband aufgenommen und abgespielt - würde ein einziges, kaum differenzierbares "Rauschen" wiedergeben. Wäre man in der Lage, somatosensorische Reize (ebenso wie akustische) auf ein wie auch immer konstruiertes Band aufzuzeichnen und wiederzugeben, ergäbe sich ein vergleichbares "Rauschen". Nur durch die Funktion der passiven und aktiven Selektionsmechanismen ist es möglich, raumscharfe somatosensorische Wahrnehmungen zu erhalten.

Die vorgenannte Aufzählung der Verursachung von Afferenzselektion ist aus physiologischer Sicht allerdings problematisch. Die Einteilung z.B. in "passive" oder "willentlich" bedingte Selektionsprozesse verleitet zur Vorstellung einer Hierarchie von Mechanismen im Sinne von "höheren" und "niedrigeren" Prozessen. Man ist geneigt, eine Aufmerksamkeitslenkung dem unabhängigen, "freien", selbstbewußten Geist des Menschen zuzuordnen. Dabei muß die "Freiheit" bzw. absolute Unabhängigkeit des Willens von endogenen Zuständlichkeiten äußerst kritisch beurteilt werden.

Motivationalen Phänomenen muß - soll hier die Position des Identismus konsequent vertreten werden - ein neuronales Korrelat zugeordnet werden, das in der Funktion der stammesgeschichtlich ältesten Teile des Großhirns und des Zwischenhirns zu suchen ist. Das limbische System stellt nicht nur denjenigen Hirnteil dar, der das Verhalten den vitalen Bedürfnissen anpaßt, sondern es wird generell für die Entscheidungsleistungen (man könnte auch sagen: für die Motivation des Handelns) verantwortlich gemacht. Andererseits ist die "niedrige" passive Funktion der efferenten Kontrolle der Afferenzen abhängig von der von der Großhirnrinde ausgegeben Efferenz, die ihrerseits bestimmt wird durch die von der Verhaltensabsicht verursachten Bewegungsentwürfe. Es scheint also ratsam, die "passiven" und "aktiven" Selektionsmechanismen eher in einen Funktionskreislauf als in eine Stufenhierarchie zu stellen.

Ergänzend wird darauf hingewiesen, daß der Begriff **"Motivation"**, der oft als Sammelbegriff für Vorgänge und Erscheinungen wie Drang, Trieb, Streben, Interesse, Wollen ... verwendet wird, hier als ein neurophysiologischer Prozeß verstanden wird, der der Aktivität des Organismus durch endogene und exogene Faktoren eine bestimmte Richtung gibt.

Meldungen mit Neuigkeitswert vermitteln vor allem solche Reize, die von der erwarteten Reizkonstellation abweichen. Offensichtlich bildet der Sportler mit der Bewegungsabsicht auch ein Bild über den während des geplanten Bewegungsablaufes erwarteten Afferenzkompflex (s. Kap. 1.2.3), mit dem die tatsächlich einlaufenden Afferenzen dann verglichen werden.

Für das visuelle System sind Meldungen mit Neuigkeitswert ausschließlich Informationen über räumliche Gegebenheiten, für das somatosensorische System neben räumlichen Informationen bezüglich der Stellung und

Bewegung von Gelenken vornehmlich Meldungen über unerwartete Änderungen der auf den Körper einwirkenden Kräfte, die zu plötzlich erhöhten oder verminderten Druck- (oder Schmerz-) reizen führen, beim Cross-Lauf etwa der Tritt auf einen Stein oder in eine optisch nicht identifizierte Bodenvertiefung.

Aus der Art des Bewußtseinsbildes läßt sich nicht ohne weiteres entnehmen, welche Afferenzen zur Bildung einer Bewegungswahrnehmung selektiert wurden. Früher war man der Meinung, die Wahrnehmung über die Stellung und Bewegung der Gelenke werde ausschließlich durch die Gelenkrezeptoren (und eventuell durch die über den Gelenken gelegenen Hautrezeptoren) gebildet. Seit den Arbeiten von McCLOSKY (1978, 1981). weiß man, daß die intramuskulären Rezeptoren für die Positions- und Bewegungswahrnehmung der Gelenke eine entscheidende Rolle spielen, obwohl das, was diese Rezeptoren messen, nämlich Länge des Muskels oder Spannung des Muskels, nicht als Bewußtseinsinhalt auftritt (s. dazu auch Kap. 1.2.2; Anstrengungswahrnehmung).

Die Afferenzen aus dem vestibulären System scheinen ebenfalls einer bewußten Aufmerksamkeitslenkung nur schwer zugänglich zu sein. Hier scheinen visuelle und somatosensorische Meldungen die verstibulären zu "überdecken"; bzw. in Fällen einer Aufmerksamkeitslenkung auf Gleichgewichts- und Drehbeschleunigungsvorgänge wird das Bewußtsein primär auf visuelle und taktile Meldungen gerichtet. Nur in den Fällen, in denen die Meldungen aus den visuellen und dem vestibulären System nicht miteinander korrelieren, scheinen Wahrnehmungsinhalte aufzutreten, die primär vestibulär veranlaßt sind.

Im Laufe der Alltags- und Sportmotorik wird die Aufmerksamkeit vorwiegend auf visuelle oder somatosensorische Afferenzen lenkt, wobei innerhalb der somatosensorischen Komponenten taktile Phänomene vorherrschen. Ebenso wie sich der Blick - je nach Erfordernis - auf unterschiedliche Orte des Sehfeldes richtet, können unterschiedliche - größer umschriebene oder enger begrenzte - Körperabschnitte die Aufmerksamkeit somatosensorisch auf sich lenken. Ähnlich wie sich bei der visuellen Wahrnehmung nur ein verhältnismäßig kleiner Bereich des Blickfeldes scharf abbilden läßt, kann eine raumscharfe somatosensorische Wahrnehmung ebenfalls nur entstehen, wenn sich die Aufmerksamkeit auf ein entsprechend eng umschriebenes Areal des "Körperfeldes" (des somatosensorischen Feldes) konzentriert. Das Verhalten des Fußes oder gar das der Ferse wird im Laufe des Drehstreckens des Stoßbeines beim Kugelstoßen raumschärfer wahrgenommen, als das Verhalten der gesamten Körperseite einschließlich des Stoßbeines. Lenkt der Trainer die Aufmerksamkeit des Schülers auf das richtige Verhalten des Stoßbeinfußes (bzw. der Stoßbeinferse), wird die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Drehstreckbewegung mit Vorspannen der Hüfte größer sein als bei einer Lenkung des Bewußseins auf die diffuse Wahrnehmung der ganzen Stoßbeinseite.

3.b. Reizselektion im sportpraktischen Vollzug: Die Meldung welcher sensorischer Systeme zur Bildung der Bewegungswahrnehmung im Vollzug der Sportpraxis zu fördern sind, entscheidet häufig die äußere Situation oder das Bewegungsziel. So wird beim Cross-Lauf der Läufer zwar vorwiegend visuelle Informationen über die näher vor ihm liegende oder weiter entfernte Laufstrecke zur Wahrnehmungsbildung bevorzugen (Abb. 3), gelegentlich kann aber die Aufmerksamkeitslenkung auf somatosensorische Meldungen gelenkt werden bzw. - anders ausgedrückt, um den aktiven Charakter der Selektion durch das ZNS deutlicher zu machen - kann das ZNS im Komplex der ständig einlaufenden somatosensorischen Meldungen Einzelinformation erkennen, deren Art es notwendig erscheinen läßt, sie bewußt zu registrieren. In diesem Fall werden vom ZNS - wenn auch nur für kurze Zeit - die visuellen

Meldungen auf dem Weg zu denjenigen Hirnstationen, an die die bewußte Wahrnehmung gekoppelt ist, gedrosselt, damit das Bewußtsein frei für die störungslose Analyse der registrierten Neuigkeit bleibt. Das kann beispielsweise beim Tritt auf eine vorher visuell nicht erfaßte Bodenunebenheit oder beim Anstoß des Beines gegen ein Hindernis (Abb. 3) der Fall sein, also in solchen Augenblicken auftreten, in denen die Meldungen von den erwarteten Werten abweichen. Die Drosselung visueller Meldungen hat selbstverständlich nur zur Folge, daß sie - für diesen Zeitraum - nicht an der Bildung der bewußten Wahrnehmung beteiligt sind.

Obwohl dem Sportler in solchen Fällen visuelle Informationen bestimmter Bewegungsabschnitte fehlen, werden ihm keine Lücken in der visuellen Wahrnehmung bewußt. Statt dessen glaubt er, eine kontinuierliche Wahrnehmung realisiert zu haben, wahrscheinlich deshalb, weil die Lücken durch das Abrufen gespeicherter Informationen ausgefüllt wurden.

Im Ablauf turnerischer Fertigkeiten selektiert das ZNS vornehmlich somatosensorische Afferenzen. Die visuellen Komponenten in der Bewegungswahrnehmung beispielsweise während einer Riesenfelge beschränken sich auf einige Eindrücke von der Reckstange und den greifenden Händen. Gefördert von den Selektionsmechanismen werden dagegen somatosensorische Meldungen, beispielsweise über Fliehkräfte und Reibungskräfte, über die Stellung des Hüft- oder Schulterwinkels bzw. über deren Winkeländerungen, über die Dynamik der schwungverstärkenden Bewegungsakte und über die zeitliche Abfolge der äußeren Beschleunigungen und der Muskelaktionen. Je automatisierter jedoch die Riesenfelge abläuft, desto eher ist der Turner in der Lage, seine Aufmerksamkeit von den somatosensorischen Meldungen abzuziehen und auf andere Modelitäten zu richten, beispielsweise auf visuelle oder auditive Reize. Offensichtlich werden in solchen Sportarten (oder - allgemeiner ausgedrückt - bei solchen motorischen Aufgaben), in denen das Handlungsziel in der Produktion der Bewegung selbst liegt, bei der Afferenzselektion Informationen des somatosensorischen Systems bevorzugt, wie etwa bei allen "Kunstsportarten" wie Gerätturnen, Gymnastik, Eiskunstlauf u.a., aber auch, wenn es in Sportarten mit "äußeren" Zielen darum geht, die das Ziel ansteuernden Bewegungsabläufe unter vorläufiger Vernachlässigung der Bewegungsziele zu erlernen. Die Bewegungswahrnehmung desjenigen Schülers, der die Rückenstoßtechnik im Kugelstoß übt, rekrutiert sich vornehmlich aus somatosensorischen - möglicherweise auch vestibulären -Meldungen. Dadurch wird der Übende in die Lage versetzt, sich ein somatosensorisches Bild seiner Bewegungen und ein Bild der äußeren Störungen, die in diesem Beispiel fast ausschließlich über somatosensorische Detektoren einkommen, zu machen. Erst mit abnehmender Störanfälligkeit des Bewegungsablaufes wird eine Konzentration auf das Bewegungsziel, nämlich die Erzeugung maximaler Dynamik der Bewegung, die Bewegungswahrnehmung beherrschen.

Als Ursachen der Afferenzselektion durch Aufmerksamkeitslenkung ist bisher nur das Einlaufen von Meldungen mit Neuigkeitswert - abhängig von der Evaluation durch die Motivationssysteme des ZNS - genannt worden, ohne daß auf einzelne Motive eingegangen wurde. Ob einer Meldung ein Neuigkeitswert zukommt, ist abhängig vom Bewegungsmotiv des Sportlers. Ist der Cross-Läufer vornehmlich darauf motiviert, die vor ihm liegende Strecke möglichst schnell zu durchlaufen, fördern die Selektionsmechanismen seines ZNS überwiegend Reize, die solche Hindernisse signalisieren, die die Geschwindigkeit seines Laufes stören könnten. Überwiegt dagegen das Motiv, während des Laufes Schmerzen zu vermeiden, läßt der Läufer bzw. sein ZNS vornehmlich solche Meldungen ins Bewußtsein dringen, die ihm mögliche Gefahrenguellen signalisieren. Es fällt nicht schwer, eine Vielzahl ähnlicher oder unterschiedlicher Motive zu finden. Während der Ausführung eines Salto vorwärts kann die Bewegungsabsicht sein, möglichst hoch zu springen oder einen möglichst schnell rotierenden Salto auszuführen, eine gehechtete Flugphase einzuschieben oder in der Schrittstellung zu landen. In all diesen Fällen werden zwar Meldungen aus dem somatosensorischen System gefördert, jedoch werden die Selektionsmechanismen die Meldungen aus den für die jeweilige Bewegungsabsicht verantwortlichen Arealen des somatosensorischen Feldes bevorzugen. Häufig tritt der Fall auf, daß sich bei Sportlern, die wenig Erfahrung mit Saltodrehungen oder ähnlichen Abläufen gesammelt haben, ein starkes Orientierungsbedürfnis über die ungewohnte Bewegungsrichtung durchsetzt. Sofern sie beim Üben verwandter Bewegungen nicht gelernt haben, die orientierende Aufmerksamkeit über die Lage im Raum bzw. über die Bewegungsrichtung vom visuellen System, das diese Aufgabe in der Alltagsmotorik erfüllt, abzuziehen und auf somatosensorische Komponenten zu richten, verlieren sie im Laufe der Saltobewegung in der Tat die Orientierung. Denn durch die hohe Winkelgeschwindigkeit der Umwelt in bezug zum Auge (fast 360°/s) und durch die durch die hohe Drehbeschleunigung des Kopfes bzw. der Vestibularapparate ausgelösten vestibulär-visuellen Reaktionen ist das visuelle System außerstande, einen relevanten Seheindruck zu gewinnen. Der Orientierungsverlust kann die Auslösung von Schutzreflexen zur Folge haben, was die geplante Übung mißlingen läßt.

Gelegentlich können die selektierenden Systeme eine äußere Reizkonstellation als derart bedeutungsvoll einstufen, daß sie - entgegen der "Absicht" des Sportlers - die Umlenkung der Aufmerksamkeit "erzwingen". So mag sich - etwa auf Anraten des Sportlehrers - eine Turnerin vorgenommen haben, darauf zu achten, während des Anschwebens zur Hocke über das quergestellte Pferd ihre Hüft- und Kniegelenke in eine vorschriftsmäßige Streckung zu bringen. Ist die Turnerin jedoch wenig geübt, kann geschehen, daß die Aufgabe, beim Aufstützen der Hände auf das Pferd das Ziel nicht zu verfehlen, die Aufmerksamkeit der Turnerin von dem ursprünglichen Vorhaben ablenkt und auf das Stützen richtet, so daß die Turnerin die Koordination der Körperhaltung nicht erfüllen und nach Abschluß des Sprunges sich nicht an ihre Körperhaltung während des Anschwebens erinnern kann.

An den genannten Beispielen wird dreierlei deutlich:

- 1. Sportler müssen offensichtlich lernen, in den verschiedenen Bewegungssituationen bzw. während des Ablaufes von motorischen Fertigkeiten die Aufmerksamkeit auf die zutreffende Modalität und das zutreffende Areal des jeweiligen sensorischen Feldes zu richten und ebenso unzutreffende Motive zu unterdrücken. Da alles, was sich (neuronal) lernen läßt, auch automatisiert werden kann, muß auch die Möglichkeit gesehen werden, daß sich Aufmerksamkeitslenkung automatisiert, d.h. daß die Aufmerksamkeit in einer bestimmten Reizsituation zwangsläufig und immer wieder auf ein und dasselbe Areal des sensorischen Feldes gelenkt wird. Wird beispielsweise ein Schüler beim Üben der Rückenstoßtechnik immer wieder dazu veranlaßt, auf einen abgespreizten Ellenbogen des Stoßarmes zu achten, kann sich diese Aufmerksamkeitslenkung derart automatisieren, daß der Schüler später nicht mehr in der Lage ist, seine Aufmerksamkeit von diesem Kriterium abzulenken und auf eine andere motorische Aktion zu richten, beispielsweise auf die gleichzeitig ablaufende Aktion des Stoßbeines.
- 2. Je nach Aufmerksamkeitslenkung lassen sich zwei generelle Typen der Bewegungswahrnehmung feststellen. Der eine Typ ist durch eine starke Fokussierung der Aufmerksamkeit auf das Erreichen des Bewegungszieles gekennzeichnet, d.h. die Motivationssysteme bewerten Meldungen über das Bewegungsresultat höher als Meldungen über den Ablauf der Bewegung. Dieser Typ der Bewegungswahrnehmung wird resultatorientiert genannt. Der zweite Typ ist dagegen durch eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf diejenigen Meldungen bekennzeichnet, die über den momentanen Ablauf der Bewegung informieren, d.h. die Motivationssysteme drosseln resultatbezogene Meldungen. Dieser Typ der Bewegungswahrnehmung wird ablauforientiert genannt. Die Zuordnung des Wahrnehmungsbildes eines jeden Bewegungsablaufes auf einen der beiden Fälle kann jedoch nicht absolut erfolgen, sondern ein Wahrnehmungsbild wird je nach Motivationslage bzw. je nach Art der Bewegung oder der Bewegungsaufgabe vermehrt resultatorientiert oder vermehrt ablauforientiert sein. Bewegungen der Alltagsmotorik und sportmotorische Fertigkeiten im Laufe von Wettspielen (Torschuß, Korbwurf, Ballannahme usw.) werden vorwiegend von resultatorientierten Wahrnehmungsbildern begleitet, während Bewegung derjenigen Sportarten, deren Ziel in der Produktion von Bewegungsabläufen liegt (Gerätturnen, Gymnastik, Tanz, Eiskunstlauf u.a.) von überwiegend ablauforientierten Wahrnehmungsbildern begleitet werden. Während sich z.B. im Laufe eines Vorhanddrives im Tennis die Aufmerksamkeit vornehmlich auf das Treffen des Balles und die durch den Schlag zu erzeugende Flugrichtung und -geschwindigkeit richtet, stehen beim Ausführen einer Radwende überwiegend Meldungen über momentane Gelenkstellungen, Kraftwirkungen und Stützreaktionen im Mittelpunkt der Wahrnehmung. Selbstverständlich kann das Bewußtsein des Tennisspielers statt einer Resultatorientierung ablaufbegleitende Meldungen selektiv fördern, z.B. Gelenkstellungs- und Gelenkbewegungsmeldungen über die Form der Aushol- und Schlagbewegung oder über die den Schlag begleitende Gewichtsverlagerungen u.a.m. - was unter Umständen notwendig wird, wenn er die "Technik" der Schlagbewegung noch nicht korrekt beherrscht.

Dadurch kann seine Aufmerksamkeit jedoch derart belastet werden, daß das Bewegungsresultat darunter leidet. Ebenso ist es dem Gerätturner möglich - vor allem dann, wenn er die entsprechende Übung gut beherrscht - die Selektion resultativer Meldungen zu fördern. Beim Stützschwingen am Barren in den Handstand wird er dann weniger den korrekten Ablauf der schwungfördernden Aktionen bewußt überwachen, sondern sich auf den Positonswechsel vom Stütz in den Handstand konzentrieren.

Es versteht sich von selbst, daß bei der Gegenüberstellung unterschiedlicher oder gegensätzlicher Typen und Gewohnheiten in der eigenmotorischen Wahrnehmung hier, weiter vorn oder auch im folgenden stets die Möglichkeit der verschiedensten Übergangs- oder Mischformen nicht übersehen wird. Für die klassifizierende Darstellung genügt jedoch der Hinweis auf die jeweiligen Gegenpole.

3. Trainer und Lehrer müssen die Aufmerksamkeit des Übenden richtend beeinflussen, damit der Schüler während des Bewegungsvollzuges nicht Meldungen unterdrückt, die für die Bildung einer den Lernprozeß günstig beeinflussenden Bewegungswahrnehmung notwendig sind. Das kann durch gezielte Anweisungen geschehen, auf welche Bewegungskomponenten während des Bewegungsablaufes zu "achten" ist. Das muß hin und wieder, vor allem dann, wenn zwingende Situationen die Aufmerksamkeit des Übenden auf sich ziehen, durch Maßnahmen geschehen, die die Situation entschärfen, so daß sie ihren aufmerksamkeitslenkenden (besser: ablenkenden) Charakter verliert. Überflüssig müßte es eigentlich sein, darauf hinzuweisen, die Aufmerksamkeit des Übenden durch Anweisungen und Maßnahmen nicht auf solche sensorischen Systeme zu lenken, die in der jeweils vorliegenden Bewegungssituation aufgrund ihrer physiologischen Grenzen gar nicht in der Lage sind zu rezipieren, wie etwa auf das visuelle System im Laufe von Saltodrehungen oder im Laufe der Körperdrehung einer Diskus- und Hammerwurftechnik, bei Drehsprüngen, Pirouetten u.a.

(KORNHUBER 1965; VOLPERT 1971; DROWATZKY 1975; MEINEL 1977; SINZ 1977; DELHESS 1978: KORNHUBER 1978 b; SCHULZ 1978; HORN 1980; NICKEL 1982; WURZ 1982)

Zwar sind die grundlegenden neurophysiologischen Mechanismen der Reizselektion und Aufmerksamkeitslenkung bekannt, doch bei der Anwendung auf komplexe motorische Fertigkeiten bleiben eine Anzahl von Fragen unbeantwortet, von denen einige im folgenden angesprochen werden sollen:

- Gibt es Menschen, die sich bei der Aufmerksamkeitslenkung im Laufe von Bewegungen vorwiegend auf somatosensorische Informationen stützen im Gegensatz zu einer anderen Gruppe von Menschen, die sich auch bei der Eigenmotorik vorwiegend visuell orientieren d.h. gibt es den sogenannten "kinästhetischen" (oder haptischen) Typ und den visuellen Typ? Beobachtungen und Erfahrungen scheinen diese Frage positiv zu beantworten. Es können Sportler angetroffen werden, die in Sportarten, welche eine Analyse vorwiegend auf somatosensorischem Niveau voraussetzen (beispielsweise Gerätturnen), Hervorragendes leisten, in Sportarten mit vorwiegend visueller Orientierungsnotwendigkeit aber versagen. Gleiches gilt für den umgekehrten Fall. Begründen sich diese Leistungsdifferenzen durch unterschiedliche genetische Ausprägung der Selektionsmechanismen, liegt also eine unterschiedliche "Veranlagung" vor oder muß dafür eine durch den langen Trainingsprozeß bedingte "Gewohnheit" verantwortlich gemacht werden? Selbst der Umstand, daß Bewegungstheoretiker und Sportmethodiker über die unterschiedliche Bedeutung visueller und

- somatosensorischer Meldungen im Laufe sportmotorischer Aktionen diskutieren, oft auf ihrem Standpunkt beharren und die sich daraus ergebenden Konsequenzen in der Planung von Lehrmaßnahmen und Forschungsschwerpunkten der einen oder anderen Art vorziehen, scheint für die Annahme der Existenz unterschiedlicher Wahrnehmungstypen zu sprechen.
- Hin und wieder wird behauptet, im Laufe eines motorischen Lernprozesses würde sich eine Verschiebung in der Aufmerksamkeitslenkung von anfänglich visueller Bevorzugung zu späterer somatosensorischer Bevorzugung einstellen. Dies kann jedoch so nicht akzeptiert werden sondern resultiert möglicherweise aus dem Umstand, daß der Mensch sich bei der Alltagsmotorik vorwiegend visuell orientiert und dieses Verhalten anfänglich bei motorischen Lernaufgaben beibehält. Die neurophysiologische Situation verlangt vielmehr, daß die Aufmerksamkeit beim Erlernen eines Bewegungsablaufes sich primär auf somatosensorische Eingänge richtet und erst später auf einem höheren Fertigkeitniveau den Sportler wieder von dieser Notwendigkeit freimacht.
- Über das Schicksal derjenigen Meldungen, die durch die Wahrnehmungsselektion nicht ins Bewußtsein dringen, ist nicht viel bekannt. Ein besonderes Problem liegt in dem Umstand, daß die elektrophysioligischen Speicherprozesse (Synapsenbahnung, Anstoßen von reverberierenden Erregungsschleifen, posttetanische Potentierung) länger andauern können (bis zu mehreren Sekunden) als der physiologische Moment (rund 120-180 ms). Es wäre also denkbar, daß anfänglich unterdrückte Meldungen nach Verstreichen des ersten Bewußtseinsaktes aus den Speichern abgerufen und für einen zweiten Bewußtseinsakt nutzbar gemacht werden können. Für diese Annahme spricht die Beobachtung, daß trotz der Aufmerksamkeitssprünge auf einzelne Aspekte des somatosensorischen Feldes in der Regel ein kontinuierliches "Bild" der Eigenbewegung vorliegt (wobei der Einfluß der Erfahrung unklar ist), gegen diese Annahme sprechen jedoch Beobachtungen, daß gelegentlich tatsächlich Lücken im Wahrnehmungsbild der Eigenbwegung auftreten (s. Beispiel Anschweben zur Hocke; s. oben).
- Es scheint so, als ob die Wahrnehmung von Bewegungen der Alltagsmotorik wie Gehen und Laufen weniger raumscharf ausfällt als die Wahrnehmung von sportmotorischen Fertigkeiten. D.h. der Perzipient ist in der Lage, über Einzelheiten in der Bewegungswahrnehmung beispielsweise der Rückenstoßtechnik ausführlichere Auskunft zu geben als über Einzelheiten in der Wahrnehmung beispielsweise des aufrechten Ganges. Die Ursache dazu könnte sein, daß die Realisierung des aufrechten Ganges als eines offensichtlich genetisch vorprogrammierten Ablaufes im Gegensatz zum Ablauf der Rückenstoßtechnik keiner gezielten Aufmerksamkeitsfokussierung auf Teilkomponenten bedarf. Möglicherweise ist die Gewohnheit an die Aufmerksamkeitslenkung im Ablauf der Rückenstoßtechnik schon allein der Grund für dieses Phänomen, und der Mensch ist nach entsprechender Gewöhnung auch in der Lage, Abläufe der Alltagsmotorik entsprechend scharf wahrzunehmen.
- Die Mechanismen zur Selektion von Meldungen mit Neuigkeitswert sind möglicherweise auch für die Beobachtung verantwortlich, daß die eigenmotorische Wahrnehmung automatisierter Fertigkeiten weniger "scharf" ausfällt als die Wahrnehmung im Laufe weniger gut beherrschter Bewegungen; denn die Rückmeldungen im Laufe der Bewegungen der erstgenannten Gruppe besitzen naturgemäß einen geringeren Neuigkeitswert. Ebenso können Sportler nach Abschluß einer motorischen Fertigkeit zwar angeben, daß die Ausführung korrekt war, wissen aber nicht anzugeben, warum sie diese Aussage treffen bzw. auf welche Indizien sie diese Aussage stützen. Sobald sie aber einen Fehler in der Bewegung produzierten, wissen sie in der Regel diesen exakt zu bestimmen - sofern sie ein eigenmotorisches Modell der Bewegung zu repräsentieren vermögen.

(s. dazu auch CHRISTIAN 1948; DERWORT 1948)

4. Synthese und Integration: Die Sinnesorgane, die Informationen über die Stellung des Gesamtkörpers im Raum liefern sollen, die Augen und die Vestibularorgane, befinden sich in einem Körperteil, der gegenüber dem Rumpf beweglich ist. Soll eine korrekte Wahrnehmung über die Körperposition entstehen, müssen demnach visuelle und vestibuläre Meldungen über die Stellung des Kopfes im Raum mit Meldungen über die Stellung des Kopfes in bezug zum Rumpf verknüpft werden. D.h., eine zutreffende Information über die Körperstellung ist

nur auf dem Wege über eine Synthese der Meldungen aus verschiedenen sensorischen Systemen, zumindest aus dem vestibulären System und aus dem somatosensorischen System (Tiefensensibilität aus dem Bereich des Halses), erreichbar. Die auf diese Weise entstehende Wahrnehmung wird multisensorische Wahrnehmung (teils auch multimodale Wahrnehmung) genannt. Wird eines dieser beteiligten Systeme getäuscht, kann die Folge eine Täuschung über die Körperposition sein: Läßt man Versuchspersonen über einen nicht allzu hohen Schwebebalken, der in einem rechten Winkel vor einer großen senkrechten gestreiften Orientierungstafel steht, auf das Orientierungsfeld zu balancieren, dann wird durch ein von der Versuchsperson unbemerktes seitliches Neigen des Orientierungsfeldes schon um wenige Winkelgrad die Versuchsperson über ihre Körperposition getäuscht, so daß sie das Gleichgewicht verliert. Sobald jedoch der Proband auf ein Kippen der Orientierungstafel vorbereitet ist, werden zur Wahrnehmungsbildung die visuellen Meldungen unterdrückt und nur Meldungen aus dem vestibulären System und dem somatosensorischen Bereich (Druckrezeptoren der Fußsohle) zur Wahrnehmung interpretiert, so daß eine Täuschung der Versuchsperson nicht gelingt - auch dann nicht, wenn der Proband die zusätzliche Aufgabe bekommt, den Kopf während des Balancierens seitlich geneigt zu halten. Allerdings gelingen Balancieraufgaben ohne Beteiligung des visuellen Systems weniger gut, was die Bedeutung der Integration visueller Meldungen zur Wahrnehmungsbildung über die eigene Körperposition aufzeigt. Das läßt sich zusätzlich auch in Experimenten verdeutlichen, bei denen die Versuchspersonen sich in einem Raum fortbewegen sollen, in denen die Wände, Türen, Fenster und Möbel schief stehen. Ein sicheres Umhergehen ist erschwert, weil über den visuellen Kanal immer wieder Fehlinformationen über die Körperstellung im Raum in die Positionswahrnehmung integriet werden. Der Effekt läßt sich noch dadurch steigern, daß auch der Boden geneigt ist und somit zusätzlich noch Fehlmeldungen von den Druckrezeptoren der Fußsohle einlaufen. Ob diese Orientierungsschwierigkeit ausschließlich durch die Erfahrung bedingt ist, die lehrt, daß Wände und Türen senkrecht stehen (sollten) und auch Fußböden in der Regel horizontal sind, ober ob auch angeborene Informationsmechanismen zugrunde liegen, kann nicht endgültig festgelegt werden. Die Beobachtung, daß die visuelle Beurteilung von Oben-unten-Richtungen nicht nur von visuellen Bezugsgrößen, sondern auch von vestibulären und somatosensorischen Meldungen abhängig ist, stützt die Vermutung über die Beteiligung angeborener Verrechnungsmechanismen.

Auch zur Bildung einer korrekten Wahrnehmung über Drehbewegungen des Körpers oder Kopfes ist eine multisensorische Verrechnung nötig. Bei kurzen Drehbewegungen des Kopfes um maximal 180°, wie sie in der natürlichen Alltagssituation immer wieder auftreten, werden aufgrund des Dämpfungsverhaltens der Cupula und der Endolymphe des Bogengangsystems die Frequenzen der Nervenimpulse eine annähernd proportionale Abbildung der Winkelgeschwindigkeit liefern. Länger anhaltende Drehbewegungen des Kopfes und Körpers mit konstanter Winkelgeschwindigkeit können - abgesehen von der Initialbeschleunigung und vom Abbremsen - die Bogengangorgane nicht reizen. Demnach sind Zusatzinformationen aus

dem visuellen System nötig, um eine zutreffende Bewegungswahrnehmung bilden zu können. Außerdem ist zusammen sowohl mit Drehbeschleunigungen als auch mit konstanten Drehbewegungen fast immer auch eine somatosensorische Reizung verbunden, die in die Bewegungswahrnehmung integriert wird. Das gilt sowohl für Laborexperimente, bei denen die Versuchsperson auf einem Drehstuhl oder einer Schaukel sitzt und bei deren Drehbeschleunigungen entsprechende Tastreize empfängt, das gilt jedoch auch für die Sportpraxis bei allen Körperrotationen wie Diskuswurf, Hammerwurf, Pirouetten, freien Überschlägen, Salti und Riesenfelgen, in deren Verlauf sowohl Tastempfindungen als auch die Wirkung der Fliehkraft auf die Gliedmaßen durch tiefensensible Empfindungen zur Komplettierung der Bewegungswahrnehmung integriert werden.

Man vergegenwärtige sich dazu, daß - physikalisch gesehen - jede Drehbewegung eines Körpers auch mit konstanter Winkelgeschwindigkeit eine beschleunigte Bewegung ist; denn ein Körper kann eine Drehbewegung nur solange beibehalten, wie auf ihn eine dem Quadrat der Winkelgeschwindigkeit proportionale, auf das Drehzentrum gerichtete Drehbeschleunigung wirkt.

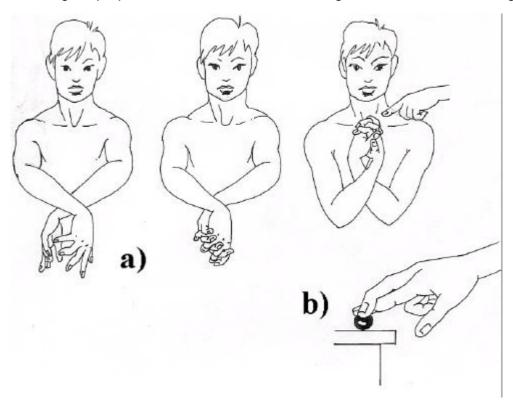


Abb. : 4: Fingerverwechselungstest (a) und aristotelische Täuschung (b) als Beispiel der Grenzen visuell-somatosensorischer Integration

- a) Beim Fingerverwechselungstest fällt es der Vp schwer, einen Finger, auf den der VI zeigt, zu bewegen, obwohl der Finger sich im Blickfeld der Vp befindet. Erst wenn der VI den zu bewegenden Finger berührt oder bei der Aufgabenstellung be- nennt (Beispiel: "Bewegen Sie den Mittelfinger der rechten Hand!"), kann die Vp die Aufgabe ohne große Schwierigkeiten erfüllen.
- b) Das Berühren einer Kugel mit gekreuztem Mittel- und Zeigefinger vermittelt trotz visueller Kontrolle den Eindruck von zwei Kugeln.

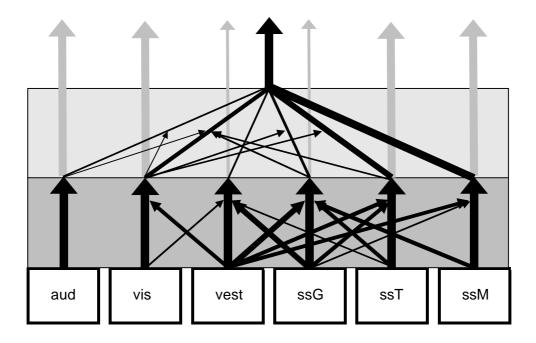


Abb. 5: Funktionsmodell zur multisensorischen Genese der Bewegungswahrnehmung. Schwarze Linienzüge und Pfeile: Bewegungswahrnehmung - die Linienstärke soll den geschätzen Anteil an der Entstehung der Bewegungswahrnehmung verdeutlichen. Graue Pfeile: Wahrnehmungen außerhalb des Komplexes der Bewegungswahrnehmung; modalitätsbezogene Wahrnehmung. Schraffierte Ebene: Ebene der unbedingten sensorischen Verknüpfungsmechanismen. Punktierte Ebene: Ebene der erfahrungbedingten Verknüpfungen. aud auditives System. vis visuelles System. vest vestibuläres System. SsG somatosensorisches System, Gelenkrezeption. ssT Tastrezeption. SsM somatosensorisches System, Muskelrezeptoren.

Ein Komplex von Tastmeldungen kann nur dann ein komplettes, zutreffendes Wahrnehmungsbild liefern, wenn die zugehörigen Meldungen aus der Tiefensensibilität, speziell Meldungen über die Gelenkstellung und Gelenkbewegung durch multimodale Konvergenz integriert werden. Das zeigt der gekreuzte-Finger-Test: Kreuzt man einen beliebigen Finger der rechten Hand über einen beliebigen Finger der linken Hand und berührt mit den beiden ausgewählten Fingern eine auf der Tischplatte liegende Kugel von 1 cm Durchmesser, so wird eine zweifelsfreie Wahrnehmung entstehen, die genauso raumscharf die Form (und Anzahl) der Kugel wiedergibt, als wenn die Finger nicht gekreuzt wären; denn die Verrechnung der Tastempfindungen mit den Meldungen über die Stellung der Gelenke und falls man die Kugel mit den Fingern hin- und herrollt - über die Gelenkbewegungen garantiert die Bildung der korrekten Wahrnehmung. Kreuzt man jedoch den Mittelfinger einer Hand über den Zeigefinger derselben Hand und berührt mit den Spitzen der beiden gekreuzten Finger die Kugel (Abb. 4b), entsteht der Eindruck, man würde zwei Kugeln

berühren. An dieser Wahrnehmungstäuschung, die auch als *aristotelische Täuschung* bekannt ist, kann weder eine eingehende visuelle Kontrolle noch das Wissen, daß tatsächlich nur **eine** Kugel vorhanden ist, das geringste ändern. Rollt man mit den gekreuzten Fingern der Hand die Kugel hin und her, so verstärkt sich die Täuschung sogar noch, indem eine klare Aussage über den räumlichen Abstand der angeblich vorhandenen beiden Kugeln getroffen werden kann. Diese Täuschung resultiert aus der Tatsache, daß über die Fingerkreuzung keine somatosensorischen Meldungen die Gelenkstellung betreffend zur Verfügung stehen, die zur korrekten Wahrnehmungsbildung verrechnet werden könnten. In gleicher Weise werden die Grenzen der multisensorischen Verrechnung beim Fingerverwechselungsversuch aufgezeigt, der in Abb. 4 a genauer beschrieben wird.

Die Ergebnisse dieser und ähnlicher Tests im Rahmen eng umschriebener Körperabschnitte geben Anlaß zur Vermutung, daß die Wahrnehmung von komplexen Körperbewegungen durch die multisensorische Integration vielfach gegeneinander verrechneter Meldungen zustande kommt (Abb. 5). Somatosensorische Afferenzen über Tastempfindungen, über Gelenkstellungen und Gelenkbewegungen übernehmen offensichtlich eine führend Rolle. Dabei scheinen nach neueren Untersuchungen die Afferenzen der intramuskulären Rezeptoren (Ia-, II- und Ib-Afferenzen) eine größere Rolle zu spielen als bisher angenommen wurde, während die Bedeutung der Gelenkrezeptoren zumindest für die Wahrnehmung der Gelenkbewegung stark in Frage gestellt wird.

Wie stark die visuelle Kontrolle des Körpers bzw. von Körperabschnitten von der Synthese somatosensorischer Meldungen abhängig ist, lehren Beispiele, bei denen letztere nicht zur Verfügung stehen (beispielsweise bedingt durch eine Rückenmarksnarkose). Dem neugierigen Patienten, an dem eine Kniearthroskopie vorgenommen wird, ist es in der Regel nicht möglich, das "Ding", an dem sich, wie er sehen kann, die Ärzte zu schaffen machen, als sein eigenes Bein zu identifizieren, weil er es an einem völlig anderen Ort und in einer anderen Stellung wähnt (s. auch Kap. 1.1).

Erschwerend wirken auf die Beurteilung des Phänomens Bewegungswahrnehmung zwei Faktoren: einerseits stellen die im Laufe von Bewegungen einlaufenden Meldungen nahezu immer Rückmeldungen vom Ablauf der vom Organismus geplanten Bewegungen dar, wobei die Bewegungswahrnehmung offensichtlich stark von demjenigen Bewußtseinsakt geprägt wird, der - als Auslöser der Bewegung - eine zentrale Vergegenwärtigung (Repräsentation) der erwarteten Rückmeldungen darstellt (s. Kap. 1.2.3 und 1.6). Andererseits wird eine Ganzkörperbewegung, wie sie die meisten sportmotorischen Fertigkeiten darstellen, niemals komplett, d.h. als Summe aller einlaufenden Meldungen im Bewußtsein abgebildet, sondern es wird - je nach Aufmerksamkeitslenkung - für jeden Bewegungsabschnitt (für jeden physilogischen Augenblick) jeweils ein einziger Aspekt herausgehoben und die anderen unterdrückt. Dadurch enthält das Wahrnehmungsbild Lücken, die entweder "leer" bleiben wie am Beispiel des Anschwebens zur Hocke (s. oben) gezeigt oder aber durch die Erfahrung von früher

abgelaufenen Bewegungen ausgefüllt werden, in deren Verlauf das Bewußtsein diejenigen Meldungen förderte, die beim vorliegenden Ablauf weggehemmt waren.

Die multisensorische Synthese erfolgt auf den verschiedenen Ebenen des ZNS. Generell lassen sich zwei Gruppen von Integrationsvorgängen bilden, indem man die Integration auf der Ebene der auf der Großhirnrinde gelegenen sekundären und tertiären sensorischen Felder und der Assoziationsfelder der Integration auf den übrigen - "darunter" gelegenen – Ebenen des ZNS gegenüberstellt (s. Abb. 5). Die erste Gruppe umfaßt eine Integration unter dem Einfluß von gespeicherten Informationen, wie sie bei der erfahrungsbedingten Interpretation, Strukturierung und Systematisierung von Afferenzen (s.u.) vorliegt, die zweite Gruppe die automatische, von der Erfahrung weitgehend unabhängige Synthese von Afferenzen, wie sie vorn besprochen wurde und wie sie auch der Exafferenz-Reafferenzdifferenzierung (s. Kap. 1.2.3) zugrunde liegt.

Die exakte Zuordnung der verschiedenen Möglichkeiten der multimodalen Synthese zu den verantwortlichen Ebenen des ZNS ist noch nicht möglich. Es können derzeit nur allgemeine Aussagen und Darstellungen in Form verallgemeinerter Modelle angeboten werden (s. Abb. 5 und Abb. 6).

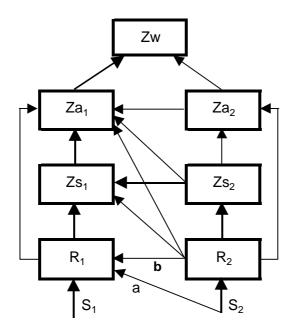


Abb. 6: Möglichkeiten der multisensorischen Konvergenz im Rahmen der Wahrnehmungsbildung R_1 , R_2 Rezeptorsysteme. S_1 , S_2 Äußere Reize zweier unterschiedlicher Modalitäten. Zs_1 , Zs_2 sensorische Zentren des ZNS. Za_1 , Za_2 Assoziationszentren des ZNS. Zw Zentrum der Wahrnehrnungsbildung.

Das Modell ist auf eine **bimodale** Konvergenz in Richtung von Modalität 2 auf Modalität 1 reduziert. Es läßt sich beliebig auf multimodale Konvergenz mit überkreuzender Verschaltung erweitern und durch überkreuzende (bidirektionale) Wirkungen ergänzen. Die Konvergenzen a **(zwei** Modalitäten - S_1 und S_2 - für **einen** Rezeptor – R_1) und b (Bimodalkonvergenz auf Rezeptorebene) ist nur beim Tier, nicht jedoch beim Menschen nachgewiesen.

Die Fähigkeit der Synthese von Meldungen unterschiedlicher Modalität und unterschiedlichen sensorischen Ursprungs setzt voraus, daß es im ZNS Neuronen oder Neuronpopulationen gibt, auf die die Afferenzen zweier oder mehrerer sensorischer Systeme zusammentreffen. Solche multimodalen Neuronen sind tatsächlich in den verschiedensten Zentren des ZNS gefunden worden, z.B. in der Großhrinrinde, speziell in der Assoziationsrinde, in sekundären und tertiären somatosensorischen Feldern, aber auch im Thalamus, in den Gleichgewichtskernen,

im verlängerten Rückenmark, in der Formatio retikularis und im Mandelkern. Im einzelnen werden genannt: optische und akustische Konvergenz im Übergangsfeld von Schläfenlappen und Hinterhauptslappen, vestibuläre, somatosensorische, obptische und akustische Konvergenz in der vestibulären Rinde, Konvergenz von visuellen und vestibulären Afferenzen in den Gleichgewichtskernen und akustische und taktile Konvergenz in der Formation retikularis. Im Mandelkern sind sogar Neuronen identifiziert worden, auf die 5 Modalitäten konvergieren (KORNHUBER 1965; HORN 1980).

(KORNHUBER 1965; KOHLER 1966; HASSENSTEIN 1973; HORN 1980; SCHÖNE 1980; NEUMEIER 1982).

Wie schon mehrfach angesprochen, werden zur Wahrnehmungsbildung nicht nur aktuelle Meldungen unterschiedlichster Modalität verwertet, sondern auch Erfahrungen eingebracht, die zu einer Wertung (Evaluation im Sinne der Bestimmung des Neuigkeitswertes einer Meldung) und zu einer Einordnung der Meldungen in die durch frühere Erfahrung erworbenen Bezugswerte führen:

5. Interpretation, Klassifikation und Strukturierung: Dieser Absatz soll mit einem Beispiel eröffnet werden, daß nicht zur Bewegungswahrnehmung im hier definierten Sinn der eigenmotorischen Wahrnehmung, sondern in den Bereich der visuellen Wahrnehmung von Bewegungen gehört. Gleichwohl kann es helfen, die zu behandelnden Fragen zu klären und die Besonderheit der Bewegungswahrnehmung zu verdeutlichen: Man stelle sich vor, ein Zuschauer beobachtet einen Sportler bei einer Bewegung, die der Zuschauer zuvor nie gesehen hat, etwa einen Hochspringer, der die Latte im Fosbury-Flop überwindet. Während der Phase der Verarbeitung der visuellen Meldungen, die der Wahrnehmungsbildung im Gehirn des Zuschauers zugrunde liegen, werden - neben dem Ingangsetzen der vorn besprochenen Mechanismen - auch Informationen aus dem Gedächtnis des Zuschauers abgerufen und mit den aktuellen visuellen Meldungen verknüpft, die zu einer Beurteilung des Gesehenen führen. Ist der Zuschauer ein interessierter Beobachter leichtathletischer Wettkämpfe, wird dieser Interpretationsprozeß zu einem anderen Ergebnis führen - ein in manchen Punkten schärferes Wahrnehmungsbild erzeugen - als bei einem weniger erfahrenen Zuschauer. Der letztere wird lediglich erkennen, daß der beobachtete Sportler - in welcher Art auch immer - die Latte überwunden hat. Möglicherweise kommen ihm wenige Einzelheiten ins Bewußtsein, etwa neben dem bogenförmigen Anlauf die Art der Landung auf dem Rücken. Der erfahrene Zuschauer wird dagegen einige bedeutsame Einzelheiten wahrnehmen und sie von den bisher gesehenen Hochsprungtechniken abgrenzen. Selbst die mit der Wahrnehmung verbundenen affektiven Phänomene werden bei ihm eine andere Tönung - etwa interessierte Überraschung - annehmen als beim unerfahrenen Zuschauer, der den Sprung möglicherweise mit der gleichen Gleichgültigkeit registriert, mit der er auch die Sprünge der anderen Sportler verfolgt. Welche Einzelheiten des Bewegungsablaufes ein Zuschauer nun registriert, hängt u.a. von der Art der Erfahrungen des einzelen ab: dem leichtathletisch Interessierten werden sich andere Einzelheiten einprägen als demjenigen Zuschauer, der des öfteren Turner bei der Ausführung des Flick-Flack beobachtet hat. Das gilt auch für den Fall, daß der Zuschauer den Ablauf nun zum zweiten, dritten und vierten Mal

beoabachtet. Je nach Vorerfahrung und Interesse wird er sich auf bestimmte Einzelheiten konzentrieren, wobei das Wahrnehmungsbild allmählich immer schärfere Konturen annimmt. Das bedeutet allerdings nicht, daß der Zuschauer mit zunehmender Häufigkeit im Beobachten des Flopsprunges in der Lage wäre, die Anzahl der im Laufe eines Hochsprunges registrierten Einzelheiten beliebig zu steigern. Diese visuelle Leistung erfährt durch die Grenzen der Blickmotorik, durch die Einschränkung des dynamischen Sehens und durch die Ausdehnung der notwendigen zentralen Verarbeitungszeit bewußter Wahrnehmungsquanten (Kap. 1.2.2) eine obere Begrenzung. Statt dessen ist der Zuschauer fähig, die Wahrnehmung bei der Konzentration auf eine oder wenige bestimmte Einzelheit durch Zufügen der übrigen Einzelheiten aus dem Gedächtnis zu komplettieren: Er konzentriert sich bei der n-ten Beobachtung des Flop beispielweise auf die Kopfhaltung während der Lattenüberquerung, "weiß" aber von früheren Beobachtungen, daß der Springer nebenbei auch die Hüfte in eine Überstreckung gehoben hat. Die sich derart durch häufiges Beobachten allmählich konstituierenden Wahrnehmungsbilder sind bei den einzelnen beobachtenden Individuen nicht identisch, sondern unterscheiden sich durch die unterschiedlichen Vorerfahrungen, Kenntnisse und Gewohnheiten.

Selbst wenn man als Beobachter einen erfahrenen Leichtathletiktrainer annimmt, wird dessen Wahrnehmung nicht schon bei der ersten visuellen Registrierung eines Flopsprunges seine endgültige komplette Form erhalten. Auch der Leichtathletik-Trainer muß - bedingt durch die Grenzen des visuellen Systems beim Bewegungsehen - seinen Gedächtnisspeicher durch mehrfaches Beobachten des Flopsprunges mit dem Wissen über Einzelheiten füllen, bevor er in der Lage ist, einen Flopsprung im Bewußtsein möglichst lückenlos abzubilden. Dabei wird seine Wahrnehmung - bedingt durch seine besondere Erfahrung auch mit der Eigenrealisation von Hochsprüngen - eine andere Komplexität, eine andere Wichtung von Einzelheiten und eine andere Struktur zeigen als diejenigen weniger fachkundiger Beobachter.

Ergänzend muß angenommen werden, daß sich Art und Aufbau eines visuellen Wahrnehmungsbildes nicht ausschließlich mit der Menge und Art der gespeicherten Informationen über den Wahrnehmungsgegenstand ändert. Sicher spielt das Lernen von Beobachtungsstrategien auch eine Rolle bei der Konstituierung einer visuellen Wahrnehmung. Möglicherweise lernt der Beobachter, sich auf diejenigen Indizien zu konzentrieren, die wesentlich sind, um mit Hilfe der zugehörigen Erfahrungswerte das visuelle Bild zu komplettieren, und die unwesentlichen Merkmale außer Betracht zu lassen.

Dieses Beispiel einer Situation in der visuellen Wahrnehmung läßt sich nicht in gleicher Weise auf die Bewegungswahrnehmung (im Sinne der Wahrnehmung von Eigenbewegungen) anwenden, und zwar aus zwei Gründen, die allerdings miteinander verflochten sind:

- Kein Sportler wäre in der Lage, auf Anhieb einen kompletten Fosbury-Flop eigenmotorisch wahrzunehmen, wenn er diese Fertigkeit vorher nicht wenigstens in Teilabschnitten hat eigenmotorisch wahrnehmen können.

 Jeder Sportler muß, bevor er sich auf dem Wege über Eigenmotorik in die Lage versetzt, den Ablauf eines Fosbury-Flop wahrzunehmen, ein "inneres" Bewegungsbild schaffen, das im wesentlichen die Wahrnehmungsinhalte antizipiert, die während des aktuellen Bewegungsablaufes einlaufen sollen (s. Kap. 1.2.3).

Gleichwohl gelten die bei der Besprechung der visuellen Wahrnehmung aufgezeigten Tendenzen der Verknüpfung einlaufender Meldungen mit gespeicherten Informationen zum Zweck der Interpretation und Klassifizierung des Wahrgenommenen auch für die Bewegungswahrnehmung. Auch Bewegungswahrnehmung ist nicht etwa nur die mentale Repräsentation einer Summe von sensorischen Einzelmeldungen, sondern ein durch die Verschmelzung von sensorischen und kognitiven Vorgängen verarbeitetes, ganzheitliches Gebilde mit interindividuelen Differenzen. Diese Differenzen werden dadurch verursacht, daß im Laufe einer jeden Individualentwicklung unterschiedliche Inhalte im Gedächtnis gespeichert werden, an denen die während eines Wahrnehmungsprozesses einlaufenden aktuellen Meldungen gemessen, bewertet und eingeordnet werden.

Allerdings können sich die interindiviuellen Differenzen der Bewegungswahrnehmung nicht auf das afferente Grundgerüst erstrecken. Da der Mensch sich als ein Stück Materie in einer materiellen Welt bewegt, unterliegt er den Gesetzen der Mechanik. Produzieren zwei Sportler identische Bewegungsabläufe, so erfahren die Sportlerkörper gleiche mechanische Beeinflussungen, was zu identischen sensorischen Reizungen und identischen primären afferenten Meldungen zum ZNS führt. Erst mit dem Einsetzen der Selektionsmechanismen werden die Meldungen gefiltert, wobei sie zwar eine Auswahl, aber keine Änderung in ihren sensorischen Quantitäten und Intensitäten erfahren. Selbst bei der Verknüpfung mit gespeicherten Informationen kann die sensorische Quantität bzw. Intensität nicht geändert werden, wohl aber die Interpretations- und Klassifizierungsqualität. Im Laufe der Oberarmkippe werden verschiedene Turner die Schwungkräfte, die Schwerkraft und die Muskelkräfte, die Schwingungsweite des Körpers und der Gliedmaßen, die Elastizität der Holmen und andere physikalische Komponenten in ähnlicher für den Ablauf der Oberarmkippe typischer sensorischer Intensität und Quantität rezipieren. Die Differenzen in der Wahrnehmung erstrecken sich auf Phänomene der Evaluation, Interpretation und Klassifizierung des Wahrgenommenen, z.B. auf den Vergleich der Bewegungsqualität der geturnten Oberarmkippe mit früher geturnten Oberarmkippen, auf den Vergleich des Erlebnisgehaltes mit anderen Kippen, auf die emotionale Bewertung eines möglichen Druckschmerzes an den Oberarmen u.a.m.

Wenn sich eine Änderung der Qualität der Interpretation und Strukturierung in der Bewegungswahrnehmung einstellt, so muß das in den meisten Fällen mit einer qualitativen Änderung der zugehörigen Bewegung gekoppelt sein. Wenn sich also mit der Wahrnehmung einer bestimmten motorischen Fertigkeit ein ähnlicher Komplettierungsprozeß vollziehen soll, wie das vorn am Beispiel der visuellen Wahrnehmung erläutert wurde, dann ist das nur bei gleichlaufender Komplettierung des korrespondierenden äußeren Bewegungsablaufes mög-

lich. Dies läßt sich leicht am Beispiel eines Sportlers verdeutlichen, der sich zum ersten Mal auf das Sprungtuch eines Trampolins stellt und versucht, federnde Schlußsprünge auszuführen. Sein Bewußtsein wird anfangs auf eine Vielfalt von äußeren Störgrößen gelenkt, die es zu registrieren, zu analysieren und zu bewerten gilt und die bei der Planung der nächstfolgenden Sprünge zu berücksichtigen sind. Je besser es dem Sportler gelingt, seine Bewegungen den äußeren Bedingungen anzupassen, je eher ist er in der Lage, sein Bewußtsein von der Analyse von Störgrößen freizumachen und sich auf Einzelheiten seines Sprungverhaltens zu konzentrieren - oder gar auf das Erleben des freien Fluges und des Bewegungsrhythmus. Damit ist zwangsläufig eine Änderung in der Interpretation der aktuellen sensorischen Eingänge gekoppelt, was gleichbedeutend ist mit einer quantitativen Änderung der Wahrnehmungsinhalte. Selbst die affektive Tönung der Wahrnehmung nimmt einen anderen Wert an.

Die Mechanismen zur Synthese der Wahrnehmungsinhalte bedingen, daß die verschiedenen Modalitäten häufig in spezifischen Kopplungen auftreten. Diese Kopplungen scheinen bei der Interpretation des Wahrgenommenen eine besondere Rolle zu spielen, da sich beobachten läßt, daß bei einer Änderung innerhalb der Kopplung der Modalitäten eine Änderung in der Qualität der Wahrnehmung auftritt: Wer gewohnt ist, eine gymnastische Übungsfolge in Abstimmung auf ein bestimmtes Musikstück auszuführen, wird einen anderen Eindruck von seinen gymnastischen Bewegungen bekommen, wenn er sie zu einer anderen Musik oder gar ohne jede Musikbegleitung ausführt. In umgekehrter Weise ändert sich die Wahrnehmungsqualität des Skiläufers, Eisschnelläufers oder Reckturners bei einer den jeweiligen Bewegungsrhythmus unterstützenden Musikbegleitung. Eine ähnliche Qualitätsänderung der Bewegungswahrnehmung kann ein Sportler an sich feststellen, wenn er in ungewohnter Umgebung agiert, wenn beispielsweise ein Turner - statt wie gewohnt in der Turnhalle ausnahmsweise unter freiem Himmel turnt. Selbst unterschiedliche Kleidung kann die Bewegungswahrnehung auf dem Wege über taktile Zusatzinformationen beeinflussen, offensichtlich ein Grund dafür, daß Gymnastinnen und Ballettänzer ihre Eigenbewegungen glauben besser einschätzen zu können, wenn sie eng anliegende Anzüge tragen.

Die neuronalen Voraussetzungen der Interpretations- und Klassifizierungsleistungen im Lauf der Bewegungswahrnehmung sind die Verbindungen der Assoziationsfelder der Großhirnrinde untereinander durch lange und kurze Assoziationsfasern. Dazu gehört auch die Verbindung zu den sensorischen und motorischen Sprachzentren, die es ermöglicht, durch verbale Kodierung der Wahrnehmungsbilder eine Strukturierung nach Superzeichen zu gewährleisten (s. Kap. 1.2.4).

Obwohl Strukturierung und Klassifikation des Wahrgenommenen ein "Urbedürfnis" des Menschen zu sein scheint (Kinder erkennen in abstrakten Mustern Figuren, Gesichter und Gestalten, die regellose Verteilung der Fixsterne ordnet man zu Sternbildern ...) liegen über Klassifikationsleistungen speziell in der Bewegungswahrnehmung des Menschen kaum Befunde vor. Das gilt ebenfalls für die Frage, ob generelle Wahrnehmungsklassifikationen auch an genetisch vorprogrammierte Mechanismen gekoppelt sind, wie es gelegentlich bei Tieren (Erkennen von Stufen als Hindernisse, auch wenn Stufen weder eigenmotorisch als Hindernis noch überhaupt visuell analysiert werden konnten) beschrieben wird. Gleichwohl muß die Frage der Klassifikation von Bewegungswahrnehmungen in einem späteren Kapitel (1.2.4) bei der Behandlung von Wahrnehmungsinvarianten noch einmal aufgegriffen werden.

(KORNHUBER 1965; KOHLER 1966; CRATTY 1975; KORNHUBER 1978 b; NEUMEIER 1982).

6. Affektive Färbung: Durch die enge Bindung des limbischen Systems an diejenigen Abschnitte des Zwischenhirns, die die Triebzentren und die vegetativen Zentren des ZNS beherbergen, werden einerseits die Evaluation der einlaufenden Afferenzen beeinflußt, andererseits auch die affektiven Komponenten der Wahrnehmnung geprägt. Speziell wird auf dem Wege über die Verbindung des limbischen Systems mit der Rinde des Stirnlappens die Wahrnehmung durch den Zustand des internen Milieus des Organismus emotional gefärbt. Primäre Grundlage für die affektive Färbung der Wahrnehmung sind Trieb- bzw. Appetenzphänomene wie Furcht, Neugier, Bewegungsdrang, Leistungstreben, Wut, Aggression, Hunger, Müdigkeit u.a.

(HENATSCH 1976; SCHMIDT/THEWS 1977; DELHEES 1978; ECCLES 1982)

Für die Bewegungswahrnehmung lassen sich affektive Phänomene generell in negative und positive Zustände bzw. Lust- und Unlustgefühle trennen. Das Empfinden der Schwerelosigkeit im Flug und im freien Fall wird in der Regel als lustbetont beschrieben. Gleiches gilt für das Erleben weiträumiger Schwünge und rhythmischer Bewegungsabfolgen. Das erfolgreiche Erledigen einer schwierigen Bewegungsaufgabe ist mit positiven affektiven Erscheinungen verknüpft, Mißerfolg wird von negativen Gefühlszuständen begleitet. Entsprechend gegensätzlich wird mühevolles Sichbewegen erlebt. Lustgefühle können bei Übersteigung der auslösenden Situation in das Gegenteil umschlagen: Das Balancieren über ein 10 cm über dem Boden liegenden Balken bedeutet kein besonderes affektives Erlebnis. Diese Situation ändert sich beim Balancieren in größerer Höhe (1m bis 1,50m). Möglicherweise garantiert der Widerstreit zwischen Erfolgserlebnis und Angst den besonderen erlebnismäßigen Reiz dieser Bewegung. Nimmt die Höhe, in der balanciert werden soll, zu, kann die Angst sich entsprechend steigern, sodaß die bewegungsbegleitenden affektiven Erscheinungen jetzt als unangenehm empfunden werden. Dieses Beispiel zeigt auch, daß die Ursachen zu affektiven Färbungen der Bewegungswahrnehmung nicht nur im Bewegungsablauf selbst, sondern auch in den Umgebungsbedingungen begründet sein können, wie auch beim Sichbewegen allein oder in der Gemeinschaft mit bekannten oder unbekannten Personen deutlich wird. Des weiteren ist die Art der affektiven Komponente der Bewegungswahrnehmung von den positiven bzw. negativen Erfahrungen des einzelnen mit der jeweiligen Bewegung und den jeweiligen Umgebungsbedingungen abhängig.

Diese wenigen Aussagen zur affektiven Färbung der Bewegungswahrnehmung kann selbstverständlich dem Problemkomplex nicht gerecht werden. Zur weiteren Aufarbeitung muß auf die psycholigische (bzw. sportpsychologische) Literatur verwiesen werden.

1.2.2 Faktoren der Bewegungswahrnehmung

Registriert ein Physiker die Bewegung eines Körpers, so mißt er die Masse bzw. Drehmasse (= Trägheitsmoment) des Körpers, seine Ortsveränderung in Form des zurückgelegten Weges bzw. des überstrichenen Drehwinkels in bezug zu Koordinaten, die außerhalb des Körpers gelegen sind, und die zur Ortsveränderung benötigte Zeit. Aus den gewonnenen Daten bestimmt er die Größe der Bewegung (den Impuls bzw. Drehimpuls). Nimmt ein Sportler an sich selbst Bewegung (Eigenbewegung) wahr, messen die Rezeptoren des Sportlerkörpers einerseits Körperpositionen im Sinne von Gliedmaßenpositionen in bezug zum Rumpf und andererseits Kraft (bzw. "Anstrengung"), in der Regel in Form von muskulärer Beanspruchung. Positionsänderung im Sinne von Gelenkwinkeländerungen werden von den Gelenkrezeptoren zwar auch gemessen, doch scheinen diese Informationen bei der Bildung der Bewegungswahrnehmung - je nach Art der Bewegung - entweder mit der Positionswahrnehmung oder mit der Kraftwahrnehmung gekoppelt zu sein. Bewegung erscheint in der Wahrnehmung offensichtlich vornehmlich als kraftverbrauchendes Agieren, das den Körper von einer Position in die andere führt, wobei die Raumkomponente an den

Umkehrpunkten von entscheidender, in den Schwungphasen von untergeordneter Bedeutung ist. Die Wahrnehmung einer komplexen Bewegung kann in einzelnen Bewegungsabschnitten zwischen den beiden genannten Aspekten wechseln. Bewegungswahrnehmung erfolgt somit nicht in der Bestimmung zurückgelegter Wege pro Zeiteinheit, sondern Wahrnehmung von Bewegung stellt primär Wahrnehmung von Bewegtheit bzw. des In-Bewegung-seins dar. Trotzdem spielt die Zeitkomponente für die Wahrnehmung von Eigenbewegung eine Rolle, jedoch vornehmlich als Bezugsgröße zur Unterscheidung simultaner und sukzessiver Einzelaktionen und zur Bestimmung der unterschiedlichen Dauer von Körperaktionen. Selbst in der Positionswahrnehmung ist - im Gegensatz zu einer physikalischen Postionsbestimmung - eine Zeitkomponente integriert. Das mag auf den ersten Blick unverständlich erscheinen. Benötigt man jedoch zur Einhaltung einer Körperposition einen relativ großen Betrag an Muskelkraft, wird die Zeitkomponente in der Positionswahrnehmung spätestens dann bewußt, wenn die Kraft zu schwinden beginnt. Im Gegensatz zum Bewegung messenden Physiker, ist beim Bewegung wahrnehmenden Sportler neben der räumlichen Komponente besonders die die Ortsveränderung bewirkende Kraft (Anstrengung) die mitentscheidende Variable. Somit ergeben sich für die Wahrnehmung von Eigenbewegungen die Komponenten Raum, Kraft (bzw. Anstrengung) und Zeit.

1. Raumkomponente: Die Komponenten der Bewegungswahrnehmung, die sich auf das beziehen, was hier als Raum verstanden wird, datieren aus den verschiedensten Ursprüngen: So gehen generelle Körperdaten in die Bewegungswahrnehmung ein, etwa diejenigen der Gliedmaßen, die besonderen Anteil am Zustandekommen und Aufrechterhalten einer Bewegung haben, z.B. der Stoßarm in der Stoßphase des Kugelstoßes, der Gegenarm in der Schwungphase zum Flopsprung, Arme und Schultern beim Seitspannstütz an den Ringen, die Hüfte in der Gleitphase des Delphinschwimmens. Hierzu addieren sich Daten, die sich auf die Stellung der betreffenden Körperabschnitte beziehen: Der gewinkelte Ellbogen des Stoßarmes ist angehoben, so daß die Handfläche nach der Armstreckung zur Seite nach außen weist. Dieser recht kleine Ausschnitt aus einer komplexen Bewegung beinhaltet eine Vielzahl räumlicher Informationen - Ellbogen, gewinkelt, Stoßarm, angehoben, Handfläche, Armstreckung, außen -, die sich noch durch Informationen aus dem Bereich der Schulter, des Handgelenkes und der Finger erweitern ließen. Zusätzlich sind Daten von den Kontaktstellen zwischen Körper und mechanischer Umwelt in der Bewegungswahrnehmung enthalten, so die Fußkontakte auf dem Boden beim Lauf und Sprung, der Handkontakt am Werkzeug, Sportgerät oder - etwa beim Turnen - am Boden. Hinzu kommen Daten aus der näheren und weiteren Umgebung des Körpers, zu denen auch die Daten über die Bewegungsrichtungen der Gliedmaßen, des Gesamtkörpers und des Sportgerätes, sowie Informationen aus dem Sehraum z.B. über die Position der Partner und der räumlichen Bewegungsziele gehören. Alle Daten scheinen durch intersensorielle Verarbeitung zu einem **multisensorischen** Wahrnehmungsraum verknüpft zu werden, wobei je nach Aufmerksamkeitslenkung Einzelheiten, die den Ort und die für die Wahrnehmungbildung benötigte sensorielle Modalität betreffen, herausgehoben werden können. Das Bezugssystem der

Bewegungswahrnehmung wird - ebenfalls durch intersensorielle Verknüpfungen - aus visuellen Kennwerten der Umwelt und aus somatosensorischen Kennwerten des eigenen Körpers zu einem Kontinuum zusammengesetzt, das in sich jedoch nicht starr ist, sondern sich je nach individuellem Vermögen und subjektiver Erfahrung in sich verschiebt, verkürzt oder ausdehnt (zum Phänomenen der Raumkonstanz s. Kap. 1.2.3).

Selbstverständlich erfolgt die Wahrnehmung von Distanzen im Laufe von Bewegungen nicht nach den Maßen der EUKLIDschen Geometrie, sondern in subjektiven Maßwerten wie Reichweite, Körperhöhe, Schrittlänge, Geh- und Laufgeschwindigkeit, Sprung- und Wurfweiten.

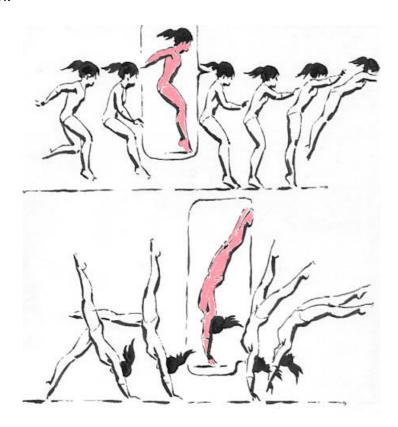


Abb. 7a: Beispiele räumlicher Fehleinschätzung in der Bewegungswahrnehmung. *oben:* turnerische Absprungbewegung. Im Zeitpunkt des Aufsetzens der Füße auf die Absprungstelle wird die Armhaltung in der Regel in der in der eingekreisten Phase (kolorierte Figur) dargestellten Position empfunden. *unten:* Handstandüberschlag vorwärts. Das Schließen der anfänglich gespreizten Beine wird subjektiv in die Handstandposition (kolorierte Figur) verlegt.

Die **Wahrnehmungsschärfe** räumlicher Komponenten erreicht bei der Bestimmung von Körper- und Gliedmaßen**positionen** die höchsten Werte. Sobald der Körper bzw. seine Gliedmaßen sich in Bewegung setzen, nimmt die Lokalisationsschärfe für Körper- und Gliedmaßenpositionen ab zugunsten exakter Bestimmung anderer räumlicher Daten (wie Bewegungsrichtungen, Lage von Kontaktstellen u.a.) und dynamischer und zeitlicher Daten. Als eindrucksvolles Beispiel soll der beidbeinige turnerische Absprung vom Reutherbrett (Abb. 7a) dienen,

in dessen Verlauf die Arme aus einer rückwärtigen Ausholbewegung vorwärts aufwärts geschwungen werden. Jeder Springer kann - nach einem Sprung befragt - seine Arme recht exakt in die Position bringen, die sie im höchsten Punkt der rückwärtigen Ausholbewegung während des Sprunges einnahmen. Springer sind jedoch häufig nicht in der Lage, eine genaue Zuordnung der einzelnen Positionen, die die Arme während des Schwunges durchliefen, zu den zugehörigen Phasen der Sprungbewegung zu liefern. Fragt man den Springer, welche Position die Arme in demjenigen Augenblick einnahmen, als die Füße des Springers gerade auf das Sprungbrett aufsetzten, gibt er in der Regel die Position des hinteren Umkehrpunktes der Ausholbewegung an, obwohl die Arme zu diesem Zeitpunkt diese Position schon verlassen haben und sich schon vor dem Körper nach oben bewegen (Abb. 7a). Diese Minderleistung in der Bewegungswahrnehmung kann mehrere Ursachen haben:

- Lenkung der Aufmerksamkeit während des Armschwunges auf dynamische anstatt auf räumliche Meldungen,
- Unvermögen, die jeweilige Armstellung während des Schwunges exakter räumlich aufzulösen,
- Unvermögen, die Aufmerksamkeit (das Bewußtsein) innerhalb eines physiologischen Augenblicks auf zwei simultan auftretende Geschehnisse des "somatosensorischen Feldes" zu richten,
- Dominanz der Wahrnehmung der Bewegungs-Umkehrpunkte gegenüber räumlichen Phänomenen, die sich weniger ausdegehnt dem analysierende Bewußtsein präsentieren,
- geringe Beteiligung der Meldungen der Rezeptoren für die Gelenkbewegung an der Bildung der Bewegungswahrnehmung u.a.

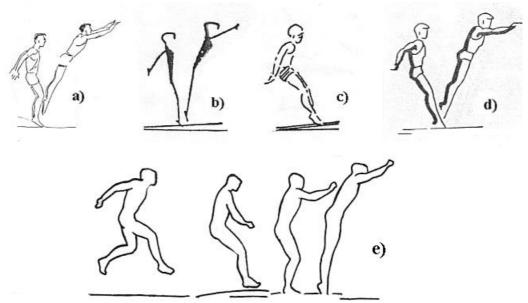


Abb. 7b: Beispiele räumlicher (und visueller) Fehleinschätzung in der Bewegungswahrnehmung. Bewegungsbeispiele aus MEUSEL 1966 (a), KNIRSCH 1970 (b), DIEKERT/KOCH 1970 (c) und GAJDOS 1983 (d). e): Umrißdarstellung nach 16mm-Film

Beobachtungen deuten darauf hin, daß durch entsprechende Aufmerksamkeitslenkung die Wahrnehmungsleistung während dieser Bewegung zumindest in einem gewissen Maße verbessert werden kann.

Allerdings muß speziell am oben beschriebenen Beispiel festgestellt werden, daß diese Einschätzung räumlicher Phänomene in der eigenmotorischen Wahrnehmung weder durch langjährige Turnpraxis, noch durch häufiges Beobachten von Turnern verbessert werden kann. Dies wird am Beispiel von Autoren von Turnlehrbüchern deutlich, die als erfahrene Turner und Turntrainer diese Bewegung unzählige Mal selbst realisiert und bei anderen Sportlern beobachtet haben,und die Abbildungen in ihren Büchern selbst erstellten, stets die in Abb. 7b wiedergegebene Falschdarstellung produzierten. Erst das vermehrte Einsetzen von Film- und Videoanalysen (Abb. 7b, unten) führt dazu, die tatsächlichen Strukturmerkmale zu erkennen.

Auch die folgenden Beispiele können ähnliche Fehleinschätzungen belegen:

Im Laufe des Handstandüberschlages glaubt der Sportler, seine anfänglich gespreizten Beine schon in einer Phase, die der Handstandstellung entspricht, geschlossen zu haben. Tatsächlich aber sind die Beine erst in einem wesentlich späteren Bewegungsabschnitt endgültig geschlossen (Abb. 7a). Im Zuge von Laufbewegungen vermuten Sportler (und Künstler, die laufende Sportler darstellen) die Position des Schwungbeines im Augenblick des beginnenden Vorderstützes des Stützbeines im hinteren Umkehrpunkt der Schwungbewegung, obwohl sich in dieser Phase der Schwungbeinoberschenkel schon nahezu neben dem Stützbeinoberschenkel befindet.

Im Rahmen der Wahrnehmung räumlicher Bewegungskomponenten fällt es Sportlern schwer, im Verlauf von Sprüngen oder Niedersprüngen den oberen bzw. unteren Umkehrpunkt der Bewegung zu identifizieren. Verbesserungen dieser Fähigkeit durch Aufmerksamkeitslenkung und Übung (mit jeweiliger Information über den Erfolg) müssen aber eher auf eine exaktere Zeitschätzung als auf eine verbesserte Raumwahrnehmung zurückgeführt werden. Auch das Abschätzen der Amplituden von Schwüngen im Hang fällt Sportlern anfangs recht schwer. Erst längeres Üben mit bewegungsbegleitender Erfolgsrückmeldung verbessert diese Fähigkeit, wobei der Verdacht naheliegt, daß die Verbesserung eher durch Auswertung von Kraftmerkmalen als durch Auswertung von Raummerkmalen zustande kommt. Ebenso wird im Laufe des Salto vorwärts am Boden die richtige Körperstellung im Raum, aus der heraus der Körper zur Landung gestreckt werden muß, nicht durch räumliche Daten bestimmt. Statt dessen lernt der Sportler offensichtlich, die Zeitspanne, die vom Absprung bis zum Zeitpunkt der Beinstreckung verstreicht, richtig abzuschätzen. Eine erfolgreiche Landung kann deshalb nur gelingen, wenn bewegungsbeeinflussende Faktoren möglichst konstant gehalten werden. Wirkt beispielsweise beim Absprung ein Faktor unvorhergesehen und unentdeckt in anderer Weise als es der Sportler gewöhnt ist (etwa die Elastizität der Absprungstelle), kann sich der Körper des Sportlers, in dem Zeitpunkt, in dem er gewöhnlich die Körperstreckung zur Landung realisiert, in einer unzutreffenden Lage im Raum befinden, so daß die Landung mißlingt. Durch Wahrnehmung räumlicher Daten während des Sprunges (z.B. durch visuelles

Analysieren der momentanen Lage des Körpers im Raum) läßt sich diese Abweichung nicht entdecken.

Generell muß festgehalten werden, daß im Laufe von Körperbewegungen räumliche Daten vorwiegend an denjenigen Stellen in die Bewegungswahrnehmung eingebaut werden, an denen sich die Gliedmaßen in bezug zum Körper relativ langsam bewegen, oder sich bei zyklischen Abläufen im Umkehrpunkt befinden. Je schneller sich Körperabschnitte in bezug zum Rumpf bewegen, desto schwieriger wird es, Daten der momentanen Gliedmaßenstellung zu identifizieren. Die Bewegungswahrnehmung stützt sich in solchen Bewegungsabschnitten auf Bewegungsrichtungen, Kraftentfaltungen und Zeitschätzung. Die Wahrnehmung von Gliedmaßenbewegungen bzw. Gelenkbewegungen ist demnach nicht als eine Wahrnehmung von Positionsänderungen pro Zeiteinheit anzusehen, sondern als ein "In-Bewegung-sein" der Gliedmaßen, wobei die jeweils durchlaufenen Positionen für die Wahrnehmungsbildung von untergeordneter Bedeutung ist und statt dessen die Ausgangs- und Endpositionen der Bewegung sowie die Bewegungsrichtung als notwendige räumliche Informationen im Bewußtsein vertreten sind.

Die Bewegungsrichtung wird in der Bewegungswahrnehmung nicht durch Daten über die Geschwindigkeits- oder Impulsvektoren (im physikalischen Sinn) eines oder mehrerer ausgewählter Punkte des bewegten Körperteils vertreten, sondern durch einen multimodalen somatosensorischen - wenn nicht sogar multisensorischen (somatosensorisch plus visuellen) - Datenkomplex, der nicht mit den geometrischen Daten der Bewegung übereinstimmen muß. So überwiegt z.B. bei Schlagbewegungen mit dem Arm in der Regel die Wahrnehmung, die Hand bewege sich während des Schlages auf einer Kreisbahn, während sie sich tatsächlich vorwiegend auf einer Geraden bewegt.

(CHRISTIAN 1948; KOHLER 1966: RÜSSEL 1976; FARFEL 1977; LEIST 1982; NICKEL 1982 und 1987).

2. Kraft-(Anstrengungs-) komponente: Im Laufe von Körperbewegungen wirken in der Regel zwei Formen äußerer Kräfte auf den Körper: Die Schwerkraft und Reibungskräfte. Hinzu kommt die Wirkung der Massenträgheit - im physikalischen Sinn eine Scheinkraft. Diese Wirkungen werden aber nur dann in die Bewegungswahrnehmung als "Kraftkomponente" eingehen, wenn sie mit Muskelkräften in einem Wechselverhältnis stehen. Sind dabei die aufzubringenden Muskelkräfte in bezug zur Maximalkraft des Sportlers niedrig, projiziert das Bewußtsein des Sportlers die Ursache der Empfindungen auf die äußere Wirkung. Erst bei Überschreiten eines bestimmten Niveaus der aufzubringenden Muskelkraft, d.h., ab einem bestimmten Anstrengungsgrad wechselt der Ursachenbezug auf körperimanente Wirkungen: Beim Tragen eines relativ leichten Gegenstandes mit rechtwinklig gebeugtem Ellbogengelenk überwiegt in der Wahrnehmung das Gewicht des Gegenstandes gegenüber der Wahrnehmung der aufzubringenden Körperkraft. Die von den Druckrezeptoren der Hand gelieferten Meldungen werden bei der Wahrnehmungsbildung in

der Weise verarbeitet, daß eine Eigenschaftsbestimmung des getragenen Gegenstandes daraus resultiert. Die Meldungen der Gelenk- und Spannungsrezeptoren, die durch die Schwerkraft sowohl des Armes als auch des getragenen Gegenstandes gereizt werden, scheinen in der Wahrnehmungsbildung keine Berücksichtigung zu finden. Beim Tragen eines schweren Gegenstandes liegt jedoch eine andere Situation vor. Jetzt beinhaltet die Wahrnehmung neben einer Empfindung von der Schwere des Gegenstandes auch einen Eindruck von der Menge der aufzubringenden Kraft. Bei äußerst schweren Gegenständen kann sogar das Richten des Bewußtseins auf die subjektive Kraftleistung andere Wahrnehmungsinhalte durch intermodale Selektion (s. Kap. 1.2.1) verdrängen.

Muskelkraft und Muskelleistung erscheinen in der Bewegungswahrnehmung jedoch nicht in Entsprechung zu den physikalisch bestimmbaren absoluten Werten. Statt dessen werden sie in Bezug zum generellen und momentanen Kraft- und Leistungsvermögen des eigenen Körpers empfunden. Das wird durch die Beobachtung deutlich, daß man bei ausgeruhtem bzw. ermüdetem Muskel ein Gewicht unterschiedlich schwer einschätzt, obwohl der Muskel objektiv die gleiche Kraft erzeugen muß und obwohl die Spannungsrezeptoren die gleiche Entladungsrate zeigen. Offensichtlich hängt die Einschätzung der erzeugten Kraft eher davon ab, wieviele motorische Einheiten in welcher Innervationsfrequenz an der Krafterzeugung beteiligt sind. Dies kann zu der Annahme führen, daß die Kopie der Efferenz an der Wahrnehmungsbildung beteiligt ist. Kraftwahrnehmung müßte demnach eher Anstrengungswahrnehmung heißen.

Letzteres wird auch bei der Wahrnehmung der Schwere der eigenen Gliedmaßen deutlich. Ein ausgestreckt gehaltener Arm wird anfänglich nicht als schwer empfunden bzw. die Schwerkraftempfindung nimmt keinen Raum im Wahrnehmungskomplex ein. Erst unter Bedingungen der lokalen Ermüdung oder allgemeiner Erschöpfung wird der Arm als schwer empfunden. Auch die Gewichtskraft der Beine bleibt zur Bildung der Wahrnehmung von Alltagsbewegungen unberücksichtigt. Nur in bestimmten sportmotorischen Fertigkeiten oder im Laufe gymnastischer Übungen, z.B. im Schwebestrecksitz, wird die Schwere der Gliedmaßen wahrgenommen.

Wird im Laufe von Alltagsbewegungen oder sportmotorischen Fertigkeiten die Wirkung von Kräften wahrgenommen, so ist diese in der Regel durch die Massenträgheit verursacht bzw. durch das Wechselverhältnis von Muskelkraft und Massenträgheit. Im allgemeinen gelten bei Körperaktionen, die den Körper als Ganzes, oder Körperabschnitte oder Gegenstände bzw. Sportgeräte beschleunigen, das gleiche, was oben zur Schwerkraftempfindung festgestellt wurde: Bei geringen Beschleunigungskräften im Vergleich zur verfügbaren Muskelkraft (z.B. im Laufe von Armschwüngen, beim Zuspiel des Handballes, beim Basketballpositionswurf oder bei einem entspannten Laufen und Springen) ist die Beteiligung der Kraftkomponente an der Wahrnehmungsbildung gering, beim Aufbringen höchster Beschleunigungskräfte (z.B. beim Abfangen eines hohen Niedersprunges, im Laufe des Beugestützschwingens am Barren

u.ä.) spielt die Kraftkomponente bzw. die Anstrengungskomponente in der Wahrnehmung eine dominierende Rolle.

Reibungskraft wird entweder als äußerer Druck bzw. Schmerz durch die Funktion der Oberflächensensibilität, oder als Eigenschaft der Umwelt (der Boden ist glatt oder rauh, "stumpf", trittfest o.ä.) oder aber - wieder unter Bedingung des Wechselbezuges zu großen muskulären Kräften - als Widerstandskraft empfunden. Somit gelten auch hier ähnliche Bedingungen wie bei Schwerkraft und Massenträgheit.

Die aufgeführten Beispiele deuten an, daß Anteil und Bedeutung der Kraftkomponente in der Bewegungswahrnehmung von Erfahrung und Übung abhängig ist. Der Sportler, der zum ersten Mal eine Stoßkugel in die Hand nimmt, wird sich auf ihre Schwere (besser: Schwerkraft) konzentrieren. Versucht er, sie im Standstoß wegzustoßen, wird ihm die dazu benötigte Anstrengung deutlich ins Bewußtsein dringen. Mit zunehmender Übung wird die Kraftkomponente eine ständig geringere Bedeutung in der Bewegungswahrnehmung einnehmen. Die Ursachen dieser Erscheinung sind vielfältig und bedingen einander:

- Der Sportler gewöhnt sich an die Schwere der Kugel und an die aufzubringende Kraft, d.h. der Neuigkeitswert der Meldungen über Gewicht und Kraft nimmt ab, so daß die Selektionsmechanismen andere Meldungen zur Wahrnehmungsbildung fördern.
- Der Sportler lernt, seine Kraft ökonomisch einzusetzen, so daß bei gleicher Leistung ein geringeres Maß an Anstrengung aufgebracht wird.
- Der Sportler erfährt durch sein Training einen Kraftzuwachs, der ihn in die Lage versetzt, das Sportgerät mühelos zu handhaben u.a.m.

Ähnliche Erscheinungen lassen sich in allen Sportarten beobachten, in denen das Produzieren der sportartspezifischen Fertigkeiten ein hohes Maß an Körperkraft voraussetzen wie etwa im Gewichtheben, Rudern, Radfahren bergauf, Gerätturnen (Schwingen im Stütz am Barren eines Anfängers oder eines Fortgeschrittenen), Bogenschießen u.a.

Die Wahrnehmungskomponente "Kraft" erscheint gewöhnlich nicht isoliert in der Bewegungswahrnehmung, sondern ist größtenteils durch intersensorische Integration mit räumlichen Phänomenen zu einer Raum-Kraft-Komponente gekoppelt. Diese Kopplung erstreckt sich auf die Wirkungsrichtung der Kraft und auf Kraftangriffspunkte. Die **Angriffspunkte** der Kraft werden vornehmlich durch die Rezeptoren der Oberflächensensibilität identifiziert; damit leisten die Tastrezeptoren sowohl einen Beitrag zur Bestimmung des Kraftmaßes - bei anästhetisierten Tastrezeptoren sinkt die Genauigkeit der Kraftmaßbestimmung - als auch ein Beitrag zur Festlegung der Raumkomponenten der Kraft. Die Kraftangriffspunkte werden in der Regel an der Kontaktstelle zwischen Körper und Umwelt erlebt, was sowohl für die Schwerkraft und Reibungskraft als auch für die Reaktionskraft zu den Muskelaktionen gilt.

Im allgemeinen existiert in der Bewegungswahrnehmung keine Zuordnung der erzeugten Kraft (bzw. der aufgebrachten Anstrengung) zu demjenigen Muskel oder derjenigen Muskel-

gruppe, die für die Erzeugung der Kraft verantwortlich war. Nur in den Fällen maximaler und/oder erschöpfender Anstrengung kann - durch Auftreten von Muskel- und Sehnenschmerzen - der "Ursprungsort" der Kraft in die Wahrnehmung integriert sein.

Die Wirkungs**richtung** der Kraft wird in der Wahrnehmung nicht isoliert auf die Kraft bezogen, sondern auf die durch die Kraftwirkung bedingte Bewegungsrichtung der bewegten oder zu bewegenden Gegenstände oder Körperabschnitte. So wird beispielsweise die Richtung der Absprungkraft als in Richtung des Abfluges weisend wahrgenommen, auch wenn sie physikalisch/objektiv einen völlig anderen Verlauf zeitigt. Über das Bezugssystem der Festlegung der Richtungen gilt das vorn über den multisensorischen Wahrnehmungsraum Gesagte.

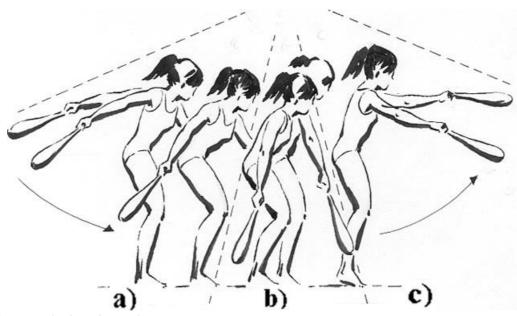


Abb. 8: Gymnastischer Armschwung.

Phase a): Der Arm schwingt "passiv", der Schwerkraft gehorchend, abwärts. Phase b): Durch Muskelaktionen wird dem Arm zur Schwungverstärkung Energie zugeführt. Phase c): Der Arm schwingt "passiv", der Trägheit gehorchend, aufwärts, bis die Schwerkraft die Bewegung in einen neuen Abwärtsschwung überführt.

Die enge Verknüpfung von Kraft- und Raumkomponenten in der Bewegungswahrnehmung ist möglicherweise eine der Ursachen der Erscheinung, daß passive (durch äußere Kräfte erzeugte) und aktive (durch Muskelkraft erzeugte) Bewegungsabschnitte im Bewußtsein nicht als qualitativ unterschiedliche Phänomene auftreten, sondern in einer funktionellen Ganzheit verschmolzen wahrgenommen werden - sofern beide Abschnitte Teile der Bewegungsabsicht sind. Ein gymnastischer Armschwung z.B. enthält zum größeren Teil Passagen, in denen äußere Kräfte den Arm in Bewegung setzen bzw. in Bewegung halten, und nur einen relativ kleinen Sektor, in dem Muskelaktionen schwungverstärkend agieren (Abb. 8). Trotzdem erscheint der Armschwung als funktionell einheitliches Geschehen im Bewußtsein des Agierenden, die aktiven und passiven Phasen d.h. diejenigen Abschnitte, in denen Muskelkraft erzeugt wird und diejenigen, in denen äußere Kräfte wirken, werden in der Bewegungswahr-

nehmung nicht qualitativ unterschieden. Statt dessen wird lediglich quantitativ differenziert nach Phasen größerer oder geringer "Spannung" bzw. "Entspannung". Entsprechendes gilt auch für Flugphasen nach Absprungbewegungen.

Da jedoch Körperbewegungen, die nicht vom Individuum beabsichtigt, sondern von äußeren Kräften verursacht sind, z.B. Fallbewegungen nach einem Stoß von außen oder nach Verlust des Gleichgewichtes, in der Bewegungswahrnehmung eine Qualität annehmen, der man das Charakteristikum "passiv" zuordnen kann, besteht Grund zu der Annahme, daß das Ergebnis einer Reafferenz-Exafferenz-Differenzierung (s. Kap. 1.2.3) darüber entscheidet, ob eine Bewegung als aktiv oder passiv empfunden wird.

(HASSELBACH 1971; LEIRICH 1973; RÜSSEL 1976; FARFEL 1977; NICKEL 1982).

3. Zeitkomponente: Die Fähigkeit von Organismen zur Wahrnehmung hat sich in einer inkonstanten Umwelt und bei einer inkonstanten "Innenwelt" entwickelt und erhält nur dort einen biologischen Sinn, wo es gilt, das Verhalten auf wechselnde Umweltbedingungen und wechselnde Bedürfnisse abzustimmen. Wahrnehmung ist demnach gleichzusetzen mit der Erfahrung von Veränderungen, z.B. Veränderungen der Umweltsituation, Veränderungen des endogenen Milieus, verursacht auch durch das Verhalten des Organismus. Veränderung stellt für den rezipierenden Organismus einen zeitkoordinierten Prozeß, also Bewegung im allgemeinsten Sinn, dar. Wahrnehmung ist deshalb ebenfalls zeitkoordiniert, Wahrnehmung vollzieht sich in der Zeit bzw. Wahrnehmung beinhaltet immer Zeitschätzungen.

Die folgenden Aussagen zur Zeitkomponente in der Bewegungswahrnehmung beziehen sich stets nur auf das Vermögen einzuschätzen, ob Ereignisse gleichzeitig oder sukzessiv beginnen oder enden und ob Ereignisse in unterschiedlich großen Zeitspannen ablaufen. Eine Stellungnahme zu allgemeinen Fragen der Entwicklung des Zeitbegriffs, zur Zeitbewußtheit und zum Zeitwissen ist nicht vorgesehen.

Läßt man Sportler im Laufe von Sprüngen entweder nach Ablauf der halben Flugzeit oder im höchsten Punkt der Flugbahn ein Signal geben, stellt man fest, daß die Zeitschätzaufgabe wesentlich besser gelöst wird als die Aufgabe zur Bestimmung räumlicher Gegebenheiten. Diese und ähnliche Untersuchungen deuten darauf hin, daß der Organismus, obwohl er nicht über Rezeptoren zur Messung von Zeit verfügt, sehr wohl in der Lage ist, Zeitspannen zu bestimmen.

Zeitbestimmung in der Bewegungswahrnehmung erfüllt im großen und ganzen zwei Aufgaben. Einerseits ist zu bestimmen, ob zwei oder mehrere Meldungen gleichzeitig oder zeitlich versetzt einlaufen. Andererseits sind Zeitspannen, in denen unterschiedlichste Erscheinungen und Vorgänge ablaufen, zu identifizieren, zu vergleichen und zu bewerten.

Die Fähigkeit, zwei kurz hintereinander auftretende Reize noch als zeitlich getrennt wahrnehmen zu können, das zeitliche Auflösungsvermögen, ist von der zugehörigen Sinnesmodalität abhängig. Zwei akustische Reize werden noch gerade dann getrennt identifiziert, wenn sie in einem Zeitintervall von 10 ms nacheinander auftreten. Die gleiche Zeitspanne liefert die untere Fusionsgrenze für Tastreize. Allerdings ist hier der Reizort für die Zeitbestimmung mitentscheidend. Werden zwei Tastreize im Zeitabstand von 10 ms auf benachbarte

Hautpartien gesetzt, werden sie noch gerade als zeitlich nacheinander auftretend wahrgenommen. Wird ein Tastreiz auf den Oberschenkel gesetzt, und zwar 10 ms vor einem Tastreiz auf der Stirn, werden die Reize als gleichzeitig auftretend empfunden. Erst wenn der Tastreiz auf dem Oberschenkel rund 30 ms vor dem Tastreiz auf der Stirn auftritt, treten beide Reize in der Wahrnehmung zeitlich getrennt auf. Die Ursache dazu ist die große Reizleistungszeit vom Oberschenkel zum Gehirn.

Zwei optische Reize werden erst in einem Zeitabstand von 100 ms als getrennt wahrgenomen. Die **Flimmerfusionsgrenze** wird jedoch durch die Lichtstärke mitbeeinflußt und liegt zwischen 10 Hz (bei geringer Lichtstärke) und 50 Hz (bei hoher Lichtstärke). Auch für den Fusionsabstand zweier Reize unterschiedlicher Modalität gelten höhere Werte als bei gleicher Modalität; bei einem Hör- und einem Tastreiz liegt sie bei 30 ms, bei einem optischen und einem akustischen Reiz bei 120 ms. Ebenso steigen die Fusionsgrenzwerte, wenn komplexere Reizkonstellationen zu bestimmen sind.

Es sind keine Hinweise darauf zu finden, ob es auch im Rahmen der Wahrnehmung von Gelenkbewegung eine Fusionsgrenze gibt. Die Schwierigkeit der Bestimmung des Auflösungsvermögens des Bewegungssinnes liegt im methodisch-experimentellen Bereich. Möglicherweise kann der Grenzwert in der Produktion schneller Gelenkbewegungen einen Hinweis auf die Möglichkeit, schnelle aufeinanderfolgende Gelenkbewegungen getrennt wahrzunehmen, geben (s.u.).

Es läßt sich eine Zeitspanne feststellen, innerhalb derer der Mensch alle auftretenden Ereignisse als *gleichzeitig* auftretend empfindet. Die Zeitspanne wird **physiologischer Augenblick** (auch psychologischer Augenblick) genannt; sie beträgt rund 120 ms (in der Literatur werden Werte zwischen 100 ms und 180 ms angegeben). Alle Ereignisse im Rahmen dieser Zeitspanne laufen für den Menschen im "Jetzt" ab. Von den Ereignissen, die zeitlich **vor** dem physiologischen Augenblick auftraten, weiß der Mensch, weil er sich an sie erinnern kann. **Kommende** Ereignisse kann der Mensch antizipieren. Das Vermögen zur Erinnerung und die Fähigkeit zur Antizipation sowie ihre gedankliche Verknüpfung mit dem "Jetzt" sind die Voraussetzungen für das Zeitempfinden des Menschen.

Die Bedeutung des physiologischen Augenblicks für die Bewegungswahrnehmung kann an der Beobachtung gemessen werden, daß die vom Menschen produzierbaren kürzesten Einzelaktionen im zeitlichen Rahmen des physiologischen Augenblicks liegen. Schnelle rhythmische Beugebewegungen mit einem Finger, mit der Hand oder dem Unterarm lassen sich kaum schneller durchführen als in einer Frequenz von 8 bis 10 Bewegungen pro s, eine Einzelbewegung demnach in einer Zeit von 100-125 ms. Selbst wenn man die einzelnen Finger einer Hand nacheinander beugt, wird es nicht gelingen, dies so schnell zu bewerkstelligen, daß innerhalb von 120 ms zwei komplette Fingerbeugebewegungen durchgeführt werden. Auch schnellste willkürliche rhythmische Muskelkontraktionen ohne Erzeugung äußerer Bewegungen benötigen rund 100-120 ms von einem Kontraktionsbeginn zum anderen. Zwischen der Möglichkeit, kürzeste Einzelaktionen zu produzieren, und der Fähigkeit, kürzeste Einzelbewegungen isoliert wahrzunehmen, besteht offensichtlich ein evolutionärer Zusammenhang. Wäre der Organismus in der Lage, deutlich zeitlich kürzere Eigenbewegungen wahrzunehmen als er selbst produzieren kann, wäre er überangepaßt; wäre er in der Lage, zeitlich kürzere Bewegungen zu produzieren, als er wahrnehmen kann, wäre er fehlangepaßt.

Gemäß diesen Überlegungen muß vermutet werden, daß die Zeitspanne des physiologischen Augenblicks auch für die Bewegungswahrnehmung Gültigkeit hat. Bewegungen (Einzelaktionen des Bewegungsapparates), die innerhalb eines physilogischen Augenblicks ablaufen, werden als gleichzeitig ablaufend empfunden. Die Wahrnehmung der zeitlichen Gliederung und der zeitlichen Ausdehnung von Bewegungsabläufen über die Zeitspanne des physiologischen Augenblicks hinaus wird durch die Erinnerung an die Bewegungsphänomene der zurückliegenden physiologischen Zeitspannen und durch die Antizipation der Aktionen der in der Zukunft liegenden Zeitspannen gewährleistet.

Zusätzlich muß vermutet werden, daß sich im Laufe von Bewegungen die Aufmerksamkeit frühestens nach Ablauf eines physiologischen Augenblicks von dem einen Wahrnehmungsinhalt auf den anderen richten kann. Somit scheint die Wahrnehmung (bzw. das Bewußtsein) zeitlich fraktioniert zu sein. Ebenso wie die Körnung des Netzhautbildes durch die Funktion des ZNS in ein kontinuierliches, geglättetes visuelles Wahrnehmungsbild übergeführt wird (räumliche Glättung), wird die zeitliche Körnung des Bewußtseins "geglättet" zu dem subjektiven Eindruck eines kontinuierlichen Wahrnehmungsflusses (zeitliche Glättung). Zwei in einem physiologischen Augenblick gleichzeitig ablaufende Teilbewegungen des Körpers können nicht gleichzeitig scharf im Bewußtsein abgebildet werden. Der Wahrnehmende muß sich entscheiden, auf welche Aktion er die Aufmerksamkeit richtet. Auch länger andauernde parallel laufende Teilaktionen können nicht gleichzeitig im Bewußtsein erscheinen. In diesem Fall ist es jedoch möglich, mit der Aufmerksamkeit zwischen den Aktionen nach jeweils einem "Wahrnehmungsquant" hin und her zu springen, wobei der Glättungseffekt den Eindruck vermittelt, man habe die Aktionen gleichzeitig wahrgenommen. Über die Konsequenzen der zeitlichen Fraktionierung der bewußten Wahrnehmung für die Selektions- und Konzentrationsprozesse der Wahrnehmung (und der Bewegungswahrnehmung) ist in Kap. 1.2.1 schon ausführlich gesprochen worden. Die in Abb. 9 und Abb. 10 dargestellten Bewegungsabläufe sollen Beispiele für die zeitliche Ausdehnung von elementaren Einzelaktionen im Laufe von komplexen Bewegungen in bezug zur Ausdehnung physiologischer Augenblicke geben, um einen Eindruck von der Anzahl alternativer Brennpunkte für das Bewußtsein im Laufe sportmotorischer Fertigkeiten zu vermitteln.

Die Abbildungen verdeutlichen, daß die Zeitspannen kürzester Elementaraktionen annähernd im Rahmen der Zeitspanne des physiologischen Augenblicks von hier 125 ms liegen. Berücksichtigt man, daß viele der dargestellten Einzelaktionen nach einer anfänglichen Beschleunigungsphase in eine Phase des Ausklingens übergehen, liegt die Vermutung nahe, daß alle dynamischen Elementaraktionen deshalb als dynamisch empfunden werden, weil ihre Beschleunigungsphase eine Zeitspanne in Anspruch nimmt, die der Spanne des physilogischen Augenblicks entspricht. Dauert die Spanne des Kraftaufwandes länger als ein bis zwei physiologische Augenblicke, wird die Aktion als verhalten, als Halte oder als geführte oder fixierende Aktion empfunden.

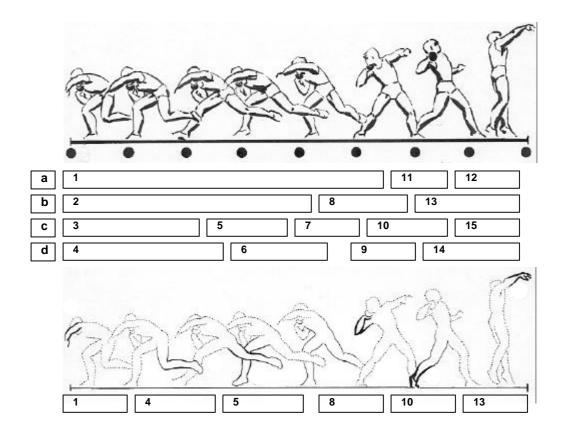


Abb. 9: Einzelaktionen während eines 1 s dauernden Ausschnitts aus dem Ablauf des Kugelstoßes. Die oberster waagerechte Linie verdeutlicht den Zeitabschnitt von 1 s mit Markierungen (schwarzen Punkten) im Abstand des physiologischen Augenblicks. Die 4 unteren Zeilen verdeutlichen die zeitliche Dauer einzelner Aktionen (= Kästchen) des linken Arms (a), des rechten Arms (b), des rechten Beines (c) und des linken Beines (d). Die Einzelaktionen sind:

- a (linker Arm): 1 Tragen vor der Schulter. 11 Rückschwingen. 14 Fixieren.
- b (rechter Arm): 2 Tragen der Kugel, angelehnt am Halse. 8 Anhegen des Ellenbogens ("Aufladen"). 13 Ausstoßen.
- c: (rechtes Bein): 3 Abdrücken. 5 Nachzehen. 7 Aufsetzen. 10 Drehstrecken. 15 Umspringen.
- d: (linkes Bein): 4 Stoßen. 6 Beugen. 9 Aufsetzen. 12 Gegenstemmen.

Die untere Darstellung soll zusätzlich verdeutlichen, wie sich die Aufmerksamkeit im Laufe der Bewegung auf einzelne Aktionen konzentriert. Die Stärke des Linienzuges soll die Schärfe des Wahrnehmungsbildes symbolisieren. Hiermit soll gezeigt werden, daß während eines einzigen Ablaufes von den 15 Einzelaktionen nur maximal 6 (in Teilen) bewußt wahrgenommen werden können.

Indizien für die zeitliche Zuordnung von Elementaraktionen kann einerseits das Auftreten von Kraftspitzen sein. Dies trifft wahrscheinlich für kurze dynamische Aktionen zu. Ebenso können - vermutlich eher im Laufe verhaltener Aktionen - räumliche Indizien, etwa der Beginn oder das Ende von Gelenkwinkeländerungen, zur Zeitschätzung verwertet werden.

Das Aufspüren von elementaren Einzelaktionen von der Zeitspanne eines physiologischen Augenblicks, sowie die Tatsache, daß alle Reizkonfigurationen, die während eines physiologischen Augenblicks auftreten, als im Jetzt bzw. als gleichzeitig auftretend wahrgenommen werden, kann ein Ansatzpunkt sein, um Bewegungen anhand ihres Wahrnehmungsbildes in ihre Elementarbestandteile bzw. in ihre Elementaraktionen zu zergliedern. Kriterium für das Ablösen der einen Elementaraktion durch eine andere wäre dann die qualitative, quantitative oder modale Änderung des Wahrnehmungsinhaltes

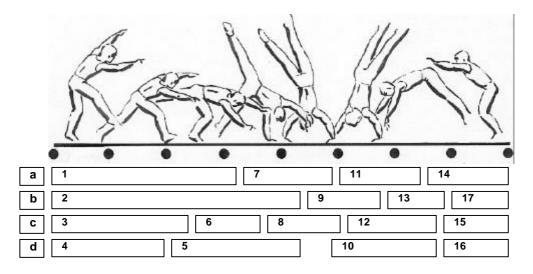


Abb. 10: Einzelaktionen während eines turnerischen Bewegungsablaufes.

Die schwarzen Markierungspunkte der oberen waagerechte Linie begrenzen Zeitabschnitte im Abstand des physiologischen Augenblicks. Die 4 unteren Zeilen verdeutlichen die zeitliche Dauer einzelner Aktionen (= Kästchen) des rechten Arms (a), des linken Arms (b), des rechten Beines (c) und des linken Beines (d).

Die Einzelaktionen sind:

- a (rechter Arm): 1 Aus der Hochhalte auf den Boden setzen. 7 Aufstützen. 11 Abdrücken. 14 In die Hochhalte bringen.
- b (linker Arm): 2 Aus der Hochhalte auf den Boden setzen. 9 Aufstützen. 13 Abdrücken. 17 In die Hochhalte bringen.
- c (rechtes Bein): 3 Vorschreiten. 6 Abdrücken. 8 Hochschwingen. 12 Abwärtsschlagen. 15 Landen.
- d (linkes Bein): 4 Abdrücken. 5 Hochschwingen. 10 Abwärtsschlagen. 16 Landen.

Eine interessante Leistung des ZNS im Zusammenhang mit der zeitlichen Einordnung von Reizfolgen ist in jüngster Zeit bekannt geworden. Auf schwache somatosensorische Reize hin benötigt das ZNS rund 0,5 s der Verarbeitung bis die Meldung denjenigen Arealen der Großhirnrinde zur Verfügung gestellt wird, an die die bewußte Wahrnehmung gekoppelt ist. Trotzdem wird die zeitliche Einordnung der Wahrnehmung auf den Zeitpunkt gelegt, zu dem die Meldung im primären somatosensorischen Zentrum ankam. Daraus kann geschlossen werden, daß entweder die Wahrnehmung antedatiert wird oder aber die primären sensorischen Zentren einen stärkeren Einfluß auf die Wahrnehmungsbildung nehmen, als das bisher angenommen wurde (LIBET 1973; ECCLES 1982, 1983).

Neben der zeitlichen Zuordnung von Meldungen können in der Bewegungswahrnehmung die

Zeitspannen ermittelt und behalten werden, in denen Körperaktionen ablaufen. Diese Bestimmung vollzieht sich jedoch nicht in der physikalischen Maßeinheit der Zeit, sondern stützt sich auf endogene Bezugswerte. Offensichtlich lernt der Organismus, welche Zeitspanne eine bestimmte Bewegung für ihren Ablauf benötigt, so daß er die gleiche Bewegung in der gleichen Zeitspanne reproduzieren kann. Andererseits scheint der Organismus Zeitspannen daran zu bestimmen, welche Bewegungen, Aktionen oder Tätigkeiten sich in den zu schätzenden Zeitspannen ausführen lassen. Dabei kann es, je nach Art der zu beurteilenden Bewegung und je nach Art der individuellen Vorerfahrung zu Zeitdehnungen und Zeitschrumpfungen kommen, d.h. die Zeitspannen bestimmter Bewegung werden - gemessen am physikalischen Zeitmaßstab - tendenziell überschätzt, andere unterschätzt, ein Zeichen dafür, daß die endogenen Bezugswerte für Zeitschätzungen nicht wie physikalische Zeitgeber funktionieren.

Sportler sind in der Lage, die Zeitspanne, die für die Produktion einer bestimmten Leistung benötigt wird, recht genau zu schätzen und können die Leistung in der gleichen Zeitspanne oder aber je nach Aufgabe in einer Zeitspanne, die nur 10 Prozent länger oder kürzer ist als die Ausgangszeit, wiederholen. Sportler können im Laufe zyklischer Bewegungen (Gehen, Laufen, Schwimmen, Radfahren, Rudern) die Zeitmerkmale exakter reproduzieren als die Raummerkmale. Entsprechende Tests, die eine Verbesserung in der Wahrnehmung räumlicher Parameter (z.B. bei FARFEL 1977; NICKEL 1976) zeigen, lassen vermuten, daß diese Leistungssteigerung auf dem Umweg über Zuhilfenahme von Zeit- oder Kraftmerkmalen zustande kommen. Sportler, die gelernt haben, eine sportmotorische Fertigkeit in einer bestimmten Zeitspanne zu realisieren, zeigen die Tendenz, bei späteren Wiederholungen der Fertigkeit die Zeitmerkmale konstant zu halten (Phänomen der Zeitkonstanz). Das erscheint aus physikalischer Sicht sinnvoll, da die Schwingungszeit von Pendeln - zumindest bei kleineren Amplituden - nicht mit der Amplitude, sondern nur mit der Pendellänge variiert. Wird die Bewegungsamplitude jedoch durch Verlängerung der sich bewegenden Pendel erweitert, vergrößert sich auch die Bewegungs-Zeitspanne, wobei jedoch die Verhältnisse der Zeitspannen für die benötigten Einzelaktionen, aus denen sich die Bewegung zusammensetzt, erhalten bleiben (relative Koordination).

Über die neurophysiologischen Grundlagen der Zeitschätzung und des Zeitempfindens ist wenig bekannt. Zwar sind im ZNS spontan feuernde Zeitgeberneurone gefunden worden, diese scheinen jedoch nur für Hörprozesse eine Bedeutung zu haben. Diese Neurone arbeiten derart trennscharf, daß das ZNS Zeitdifferenzen von einer tausendstel Millisekunde unterscheiden und für das Richtungshören auswerten kann. Darüber hinaus werden in den spontanaktiven Kleinhirnneuronen Zeitgeber für die Motorik vermutet, und es wird den erregenden Neuronenkreisen im Zusammenhang mit dem Kurzzeitgedächtnis bezugsgrößengebende Aufgaben für das Zeitempfinden zugeschrieben.

(FRAISSE 1966; BERGIUS 1968; SCHALTENBRAND 1969; KEIDEL 1970; CRATTY 1975; KEIDEL 1976; NICKEL 1976; RÜSSEL 1976; FARFEL 1977; MURCH/WOODWORTH 1978; ECCLES 1982 und 1983; NICKEL 1984).

1.2.3 Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung und Konstanzphänomene

Hat ein Judoka (im folgenden immer "Angreifer") den Kampfanzug seines Gegners ergriffen, so erfährt er - außer durch Meldungen aus dem visuellen System - durch die Tastrezeptoren seiner Hände und durch die Gelenkrezeptoren der Arme eine Vielzahl von Informationen über seinen Griff. Versucht er nun, durch Ziehen am Kampfanzug des Gegners diesen in eine für einen Angriff günstige Position zu bringen, variieren vor allem die Meldungen von den Tastrezeptoren vielfältig, je nach Art und Intensität seiner Bemühungen. Widersetzt sich nun der Gegner seinerseits diesen Angriffen, addieren sich zusätzlich die von den Kräften des Gegners erzeugten Tast- und Gelenkstellungsmeldungen zu denjenigen, die durch seine (des Angreifers) eigenen Kräfte erzeugt wurden. Trotz der Vielzahl der Verursachung der Meldungen weiß der Angreifer stets, welchen Teil und welcher Betrag an Meldungen durch seine eigenen Aktionen und welcher Teil durch die Aktionen des Gegners erzeugt werden. Auf diese Weise erfährt er exakt den Erfolg seiner Bemühungen und weiß die Aktionen des Gegners abzuschätzen, um entsprechend darauf reagieren zu können.

Gleiches vollzieht sich nun am gesamten Körper des Angreifers. Die Meldungen der Tastrezeptoren seiner Schultern und seines Rückens über das Ziehen des Gegners an seiner Kleidung werden genau von denjenigen Meldungen getrennt, die entstehen, wenn der Angreifer sich diesem Zug aktiv widersetzt. Für die Tastmeldungen seiner Fußsohlen und für die Stellungsrezeptoren seiner Knie- und Hüftgelenke gilt ähnliches. Noch komplexer sind die Ursachenbeziehungen der visuellen Meldungen: Eine Bildverschiebung auf der Netzhaut - also ein Bewegungsreiz - kann dann entstehen, wenn der Angreifer sich auf den Gegner zu bewegt oder wenn er bei ruhendem Rumpf seinen Kopf dreht, wenn er - selbst in ruhender Position - den Gegner auf sich zu zieht oder wenn der ruhende Gegner den Angreifer selbst bewegt und schließlich, wenn sich Objekte im Blickfeld des Angreifers, etwa der Schiedsrichter oder die Kämpfer auf der benachbarten Matte, in bezug zur Umwelt in Bewegung setzen. Auch hier ist garantiert, daß der Sportler zu jeder Zeit richtig entscheiden kann, ob er sich selbst oder ob sich der Gegner oder eine dritte Person bewegt. Niemals wird im Sportler der Eindruck entstehen, die Umwelt bewege sich (Ausnahme: vestibulär bedingte Täuschungen der visuellen Wahrnehmung).

Die in diesem Beispiel aufgezählten Meldungen lassen sich gemäß ihrer Verursachung in zwei Gruppen teilen:

- 1. Meldungen, die als Konsequenzen der Aktionen bzw. Bewegungen des Perzipienten auftreten, also Rückmeldungen bzw. **Reafferenzen**, und
- 2. Meldungen, die von außen ohne Zutun des Perzipienten verursacht sind, von außen auf den Perzipienten wirken, also Außenmeldungen bzw. **Exafferenzen** sind.

Um eine korrekte Wahrnehmung über die Geschehnisse in der Umwelt und über die Wirkungen der körpereigenen Aktionen garantieren zu können, muß das ZNS die in dem gesamten Afferenzzustrom enthaltenen Reafferenzen und Exafferenzen voneinander trennen können.

Dabei läßt sich feststellen, daß die Exafferenzen gegenüber den Reafferenzen in der Regel den höheren Informationswert besitzen und somit durch die Selektionsmechanismen (s. Kap. 1.2.1) gefördert werden, während die Reafferenzen gewöhnlich mehr oder weniger stark gedämpft werden. Dem Judoka (Angreifer) dringen diejenigen Tastmeldungen weniger scharf ins Bewußtsein, die von seinen eigenen Griffaktionen verursacht sind, im Gegensatz zu denjenigen Meldungen, die von den Bewegungen des Gegners herrühren.

Mit diesem Beispiel ist jedoch die Abgrenzung von Re- und Exafferenz noch nicht vollständig. Dazu bedarf es einer Erweiterung. Dem Cross-Läufer werden in der Regel die Druckreize an den Fußsohlen während der Laufschritte nicht sonderlich scharf ins Bewußtsein dringen, wenn er über relativ ebenen Boden läuft. Tritt er aber auf ein Hindernis, das sich vorher visuell nicht angekündigt hat, springt die Aufmerksamkeit sofort um und hebt die durch den Tritt auf das Hindernis erzeugten Tastreize scharf ins Bewußtsein. Obwohl diese Afferenzen auch durch die Aktionen des Läufers verursacht sind, wertet das ZNS sie so aus, als ob die Verursachung von der Umwelt ausginge - sie werden vom ZNS als Exafferenzen behandelt. Demnach scheint ein weiteres Kriterium für die Reafferenzbestimmung die **Erwartungshaltung** des Perzipienten zu sein. Meldungen, die beim Ingangsetzen einer Aktion als Konsequenzen zu erwarten sind, werden als Reafferenzen gewertet, überraschende, nicht erwartete Meldungen als Exafferenzen. Daraus wird deutlich, daß im Laufe von Aktionen das Auftreten von Exafferenzen ein Zeichen dafür ist, daß die Aktion nicht so abgelaufen ist, wie sie geplant wurde. Exafferenzen können demnach als Störgrößen gewertet werden.

Die Fähigkeit zur **Reafferenz - Exafferenzdifferenzierung** ist somit die Grundvoraussetzung für die Möglichkeit, über den Erfolg oder Mißerfolg von Aktionen entscheiden können.

Das letztgenannte Beispiel deutet zusätzlich an, daß das Ergebnis der Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung übungsabhängig sein kann. Ein Läufer, der über den glatten Boden einer Laufbahn zu laufen gewöhnt ist, wird bei einem ersten Crosslauf bei einem Tritt auf eine Unebenheit eine solche Wahrnehmung produzieren, die der Meldung das Merkmal der Exafferenz zuordnet. Nach einer Eingewöhnungszeit werden die Meldungen über Bodenunebenheiten ihren Neuigkeitswert verlieren - z.B. weil der Läufer gelernt hat, seinen Lauf trotz Bodenunebenheiten störungsfrei durchzuführen und weil der Läufer in einem bestimmten Gelände die Meldungen von Bodenunebenheiten geradezu erwartet und damit die Meldungen das Kennzeichen von Reafferenzen annehmen. Darüber hinaus können sogar Meldungen, die auch objektiv nicht durch die Motorik des Sportlers verursacht sind, Eigenschaften von Reafferenzen annehmen. Wer zum ersten Mal auf einem trabenden Pferd sitzt, wird durch die scheinbare Unkoordiniertheit seiner Körper- und Kopfbewegungen den Eindruck haben, die Umwelt würde sich in Sprüngen auf und ab und am Reiter vorbeibewegen. Nach einiger Übung wird die Umwelt als raumkonstant (ortsfest) wahrgenommen. Die visuellen Meldungen haben - obwohl sie nicht vom motorischen Verhalten des Reiters verursacht sind - das Charakteristikum der Exafferenz verlorgen und die Eigenschaften von Reafferenzen angenommen. Ähnliches läßt sich beim Karussellfahren beobachten, speziell

an Karussells, die nicht ausschließlich auf einer glatten Kreisbahn sondern auf einer spiralförmig gewundenen Schleife fahren. Normalerweise entsteht der Eindruck, die Umwelt würde sich in unterschiedlicher Geschwindigkeit und unterschiedlicher Richtung um den Karussellfahrer drehen - was zusammen mit entsprechenden vestibulären Meldungen den besonderen "Reiz" des Karussellfahrens ausmacht. Derjenige vom Bedienungspersonal des Karussells, der während der Fahrt des Karussells auf die Fahrgastkabine auf und von ihr abspringen kann, muß die Umwelt als ortsfest wahrnehmen können, um zu dieser Leistung überhaupt befähigt zu sein. In diesem Fall werden die Meldungen über die bei der Karussellfahrt auftretenden Körper-Umweltverschiebungen in der Bedeutung von Reafferenzen wahrgenommen.

Hier scheint sich eine Parallele - oder gar eine Korrelation - zum Problem des Körperschemas zu ergeben. Exafferenzen können durch "Einverleibung" zu Reafferenzen werden: Wird der Teil der Umwelt, von dem die Verursachung der Meldungen ausgeht, durch Übung an das Körperschema (s. Kap. 1.1) angliedert, scheint der besagte Übergang von der Exafferenz zur Reafferenz vollzogen.

Die bisherigen Beispiele aus der Sportpraxis zur Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung lassen die Vermutung aufkommen, es handele sich hier um eine zentralnervöse Leistung auf höchster Regulationsebene oder setze gar eine Evaluation der Meldungen durch einen kritischen Verstand voraus. Daß dies nicht in jedem Fall zutrifft, zeigen einerseits die Tests zur Raumkonstanz, andererseits die Tatsache, daß auch das Verhalten der Tiere nur erklärbar ist, wenn in den Nervensystemen - auch in den einfachst entwickelten - ein Mechanismus zur Reafferenz-Exafferenz-Differenzierung angenommen wird (s. von HOLST, 1950, 1969) Die neuronalen Strukturen, die diese Leistung vollbringen, sind jedoch noch nicht bekannt. Es wird vermutet, daß im menschlichen Gehirn die Bahnen der zentralen Rückmeldung daran beteiligt sind. Ebenso könnten die Kollateralen der efferenten Bahnen zu den afferenten Verrechnungsinstanzen und die Bahnen der efferenten Kontrolle der Afferenzen an der Reafferenz - Exafferenzdifferenzierung beteiligt sein, etwa in der Weise, daß die motorischen Zentren Impulse an die Schaltneuron der sensorischen Systeme senden, um die Reafferenzen zu unterdrücken.

In die Biokybernetik und Psychologie sind verschiedene Modelle zur Erklärung der Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung entworfen worden. Das bekannteste ist das **Reafferenzprinzip** von E. v. HOLST und H. MITTELSTAEDT (1950), das zur Erklärung angeborener Verhaltensmechanismen von Tier und Mensch entwickelt wurde. Da es in erster Linie ein Modell zur Verhaltensregelung darstellt, soll es an dieser Stelle nicht eingehender besprochen werden. Gleichwohl kann es hier dazu dienen, die Mechanismen der Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung zu verdeutlichen.

Die allgemeine Fassung des Reafferenzprinzips fordert, daß in einem untergeordneten Zentrum des ZNS von der aus übergeordneten Zentren des ZNS absteigenden Efferenz eine Kopie, die Efferenzkopie, gebildet und gespeichert wird. Nach Einlaufen der Afferenz des von der Efferenz ausgelösten Verhaltens wird die Afferenz mit der Efferenzkopie verglichen, indem die Afferenz von der Efferenzkopie substrahiert wird. Heben sich Afferenz und Efferenzkopie auf, muß die Afferenz als Reafferenz, d.h., ausschließlich als durch das Verhalten verursacht gewertet werden. Das Verhalten gilt als erfolgreich beendet. Ein aus dem Vergleich verbleibender Rest muß als Exafferenz, also als Wirkung einer äußeren Störgröße, beurteilt werden. In einem nächsten Koordinationsschritt kann die Efferenz um den Wert der Differenz erweitert werden, bis der Afferenz-Efferenzkopie-Vergleich ein erfolgreiches Ausgleichen des Störeinflusses ergibt (s. Abb. 11). Zur Erklärung angeborener Verhaltensmechanismen - etwa zur Erklärung des Phänomens der Raumkonstanz - reicht das Reafferenzprinzip in der Grundfassung vollkommen aus. Da aber einerseits im Laufe angeborener Verhaltensmechanismen nicht der gesamte Komplex der Afferenz, sondern jeweils nur ein mehr oder weniger eng umschriebener Schlüsselreiz bei der Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung ausgewertet wird - der Rest der Afferenz bleibt unberücksichtigt -, andererseits der Vergleichsprozeß in der Regel eine Differenzbildung im mathematischen Sinn darstellt, scheint die allgemeine Fassung des Reafferenzprinzips zur Erklärung der Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung im Laufe erworbener Fertigkeiten nicht umfassend genug. Aus diesem

Grunde wurden verschiedene Modelle entwickelt - die teilweise als erweiterte Fassung des Reafferenzprinzips zu verstehen sind -, um diejenige Größe, mit der die Afferenz verglichen wird, bzw. den zugrunde liegenden Mechanismus exakter zu beschreiben, als es der Begriff der Efferenzkopie erlaubt (z.B. ANOCHIN: "Handlungsakzeptor", FELDES: "Gesamtafferenzkopie", BISCHOF: "Kompensationsprinzip", HEIN/HELD: "Korrelationsspeicher plus Komparator", SCHMIDT: "motor response Schema" u.a.m.).

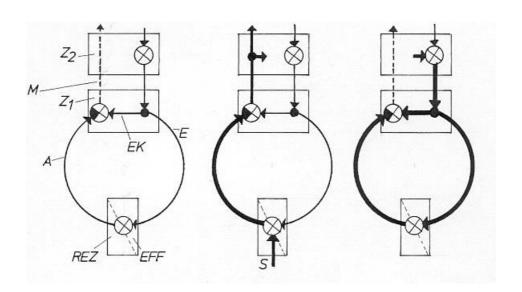
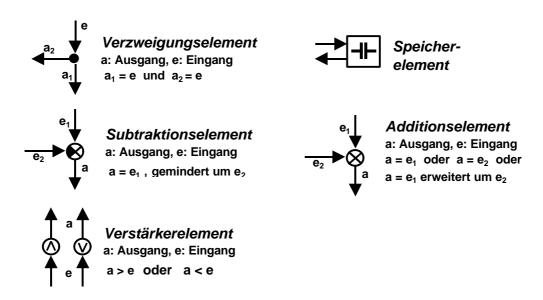


Abb 11: Funktionsmodell zum Reafferenzprinzip. (verändert nach v,HOLST/MITTELSTAEDT 1950)

A Afferenz. E Efferenz. EFF Effektor. EK Efferenzkopie. M Meldung. REZ Rezeptor. S Störeinfluß.

Z₁/Z₂ Zentren des ZNS. Erklärung der Schaltsymbole (verändert nach HASSENSTEIN 1973):



Eine für die Sensomotorik des Menschen sinnvolle Erweiterung des Reafferenzprinzips braucht lediglich zwei Faktoren zu berücksichtigen:

1. Die während einer Bewegung einlaufende Afferenz wird nicht mit einer Kopie der Efferenz, sondern mit einer Bezugsgröße verglichen, die die Gesamtheit der zu erwartenden Reafferenzen (der zu erwartenden sensorischen Konsequenzen der geplanten Bewegung) enthält.

2. Die durch die Reafferenz-Exafferenz-Differenzierung ermittelte Abweichung, die auf die Wirkung einer äußeren Störgröße zurückzuführen ist, bewirkt nicht nur bei der momentan ablaufenden Bewegung eine Verstellung der Efferenz, sondern sie kann gespeichert werden, um die Efferenz einer nächstfolgenden Wiederholung der Bewegung nachzuverstellen.

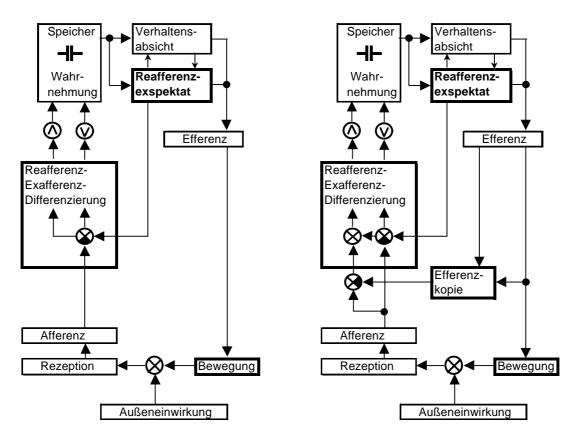


Abb. 12: Funktionsmodell der Reafferenz-Exafferenz-Differenzierung. (rechts: Unter Berücksichtigung der Bildung einer Efferenzkopie). Erläuterung der Schaltsymbole s. Abb. 11.

Zu Punkt 1 muß ergänzt werden, daß durch diese Forderung nicht nur die interne und externe Reproduktion schon gespeicherter Afferenzkomplexe, sondern auch eine völlige Neukombination von Afferenzkomplexen aus bisher gespeicherten Afferenzkomplexen oder aus Teilen derselben gewährleistet ist. Aus diesem Grunde soll die Bezugsgröße hier **Reafferenzexspektat** genannt werden, um den Charakter eines **erwarteten** Wertes deutlich zu machen. Zusätzlich kann das Reafferenzexspektat einerseits als neurophysiologisches Phänomen, etwa als eine neuronale Verschaltung zur Förderung von Exafferenzen und zur Dämpfung von Reafferenzen, andererseits als psychisches Phänomen, etwa als Bewegungsvorstellung (siehe Kap. 2) oder Bewegungsentwurf angesehen werden. Das wiederum setzt voraus, daß hier von der hypothetischen Annahme ausgegangen wird, daß das Reafferenzexspektat nicht durch die Efferenz bedingt ist, etwa als eine Kopie derselben, sondern statt dessen die **Voraussetzung für die Bildung der Efferenz** liefert und somit mit demjenigen internen Phänomen gleichbedeutend ist, das sich *Verhaltensabsicht* oder *Bewegungsplan* oder *Bewegungsmodell* nennen läßt oder zumindest eine Transskription der Verhaltensabsicht in ein Reafferenzbild darstellt (WIEMANN 1989 und 1999).

Diese Hypothese unterscheidet sich von anderen Modellen entscheidend. Während in älteren Modellen (v. HOLST u. MITTELSTAEDT, HEIN und HELD) das Vergleichsmaterial für die kommende Afferenz durch die Efferenz - bzw. durch das motorische Kommando - gebildet wird, in erweiterten Modellen (ANOCHIN, ADAMS, SCHMIDT) die Verursacherfrage entweder offengelassen oder nicht deutlich formuliert wird, wird hier aufgrund neurophysiologischer Erkenntnisse einerseits und phänomenologischer Betrachtungen (siehe Kap. 2) andererseits es als berechtigt angesehen, daß die Verursacherbeziehung nicht in Richtung von der Efferenz auf das Reafferenzexspektat, sondern umgekehrt von dem Reafferenzexspektat oder dessen Verursachung auf die Efferenz weist (Abb. 12). Die begriffliche Abklärung zu diesem Fragenkomplex wird in Kap. 2 angegangen.

Eine Übereinstimmung im Vergleich der erwarteten Reafferenz, des Reafferenzexspektats, mit der einlaufenden Afferenz bedeutet, daß das System sich im geplanten Zustand befindet bzw. die geplante Bewegung erfolgreich

abgeschlossen hat. Identifiziert der Vergleich einen Anteil der Afferenz, der nicht im Reafferenzexspektat enthalten ist, so ist dieser auf die Wirkung eines - nicht vorausgesehenen - Umwelteinflusses zurückzuführen (= Exafferenz), was bedeutet, daß der geplante Bewegungszustand nicht eingehalten werden kann und um den Betrag der Abweichung zu korrigieren ist, oder daß die geplante Bewegung nicht erfolgreich abgeschlossen wurde. Die Beseitigung der Abweichung erfolgt über eine in Kap.2 genauer zu beschreibende Änderung der Verhaltensabsicht bzw. des Reafferenzexspektates und - als Konsequenz davon - zu einer Änderung der Efferenz.

Die unter Punkt 2 geforderte Möglichkeit der Speicherung des Ergebnisses der Reafferenz-Exafferenzdifferenzierung gewährleistet, daß bei neuerlicher Planung des Zustandes oder der Bewegung der durch die Exafferenz übermittelte Außeneinfluß berücksichtigt und in das Reafferenzexspektat eingebaut wird, so daß eine angepaßte Efferenz gebildet wird. Damit wäre ein Lerneffekt ausreichend berücksichtigt.

Da das hier vorgeschlagene Modell die Bildung des Reafferenzexspektats vor den Efferenzentwurf setzt, ist es überflüssig, hier zwischen Anlaß- und Situationsafferenz (FELDES, ANOCHIN, MEINEL) zu unterscheiden; denn die Situationsafferenz kann als im Reafferenzexspektat berücksichtigt gelten. Das hier entworfene Modell der Reafferenz-Exafferenz-Differenzierung ist in Abb. 12 dargestellt. Es läßt sich ohne weiteres um das Modell des Reafferenzprinzips erweitern, um auch eine Reafferenz-Exafferenz-Verrechnung angeborener Mechanismen erklären zu können. Der Vergleich der Afferenz mit dem Reafferenzexspektat darf nicht als mathematische Differenzbildung angesehen werden, wie das bei der Erklärung des Reafferenzprinzips durchaus möglich ist, sondern als ein neuronaler Mechanismus zur Förderung von Exafferenzen und Dämpfung von Reafferenzen, wobei - je nach Aufmerksamkeitslenkung - auch eine bewußte Wahrnehmung der reafferentativen Komponente der Meldungen möglich ist.

Die Anwendung des Reafferenzprinzips gestattet die Erklärung des Phänomens der Raumkonstanz in der visuellen Wahrnehmung. Das Phänomen der Größenkonstanz in der visuellen Wahrnehmung ist jedoch nur dann erklärbar, wenn das Modell des Reafferenzprinzips erweitert wird. *Unter dem Phänomen der Größenkonstanz ist die Wahrnehmungsleistung zu verstehen, die Größe eines dem Perzipienten bekannten Objektes konstant zu beurteilen, unabhängig davon, wie groß das Netzhautbild des Objektes durch unterschiedlichen Abstand vom Auge ausfällt.* Diese Leistung der Größenkonstanz setzt voraus, daß der Perzipient die Größe des zu beurteilenden Objektes in bezug zu bekannten Objekten wahrgenommen und die Erfahrung gespeichert hat. Die Absicht, einen entfernten Gegenstand anzublicken, veranlaßt einerseit den Entwurf einer erwarteten Reafferenz (Reafferenzexspektat) über die Erscheingungsgröße des Gegenstandes, andererseits die Zusammenstellung der Efferenzen, um die Blickaktion durchzuführen. Der Vergleich der Afferenz mit dem Reafferenzexspektat bestätigt Größe und Entfernung des angesehenen Objektes oder meldet - für den Fall, daß Afferenz und Reafferenzexspektat nicht übereinstimmen - einen Irrtum im Schätzen der Größe des Objektes oder der Entfernung des Objektes. Für den zweiten Fall muß die Efferenz korrigiert werden, im ersten Fall die gespeicherte Information über die Größe des Objektes. Auch die Phänomene der Formkonstanz und der Aktionskonstanz können durch ein erweitertes Reafferenzprinzip erklärt werden.

Das Phänomen der Raumkonstanz betrifft ursprünglich nur Konstanzphänomene im Laufe physiologischer Augen- und Kopfdrehungen. Erscheinungen der Raumkonstanz können in der Sportpraxis jedoch auch beim Einnehmen ungewöhnlicher Körperpositionen und im Laufe komplexer sportmotorischer Fertigkeiten beobachtet werden. An ihrer Ausbildung sind jedoch Lernvorgänge beteiligt. Nimmt ein Sportler beispielsweise erstmalig am Barren oder an den Ringen hängend einen Strecksturzhang ein, wird er, falls er sich noch nie in einer ähnlichen Körperposition - etwa in einer Kerze am Boden - befunden hat (was in der regel derart absolut nur in einem hypothetischen Fallbeispiel zutreffen wird), nicht in der Lage sein, sich korrekt räumlich zu orientieren. Das heißt, er weiß nicht, eine eindeutige Oben-Unten-Beziehung festzulegen, was zur Folge hat, daß er die Sturzhangposition nicht ausbalancieren kann. Selbst eine visuelle Orientierung (Anschauen seiner Knie oder der über ihm befindlichen Geräte- und Turnhallenabschnitte) wird ihm wenig nützen. Erst mit zunehmder Gewöhnung an diese Position gelingt es dem Turner mehr und mehr, sowohl somatosensorische Meldungen über die Wirkung der Schwerkraft auf die Gelenke, Muskeln, das Gewebe, über Gelenkstellungen, und speziell über die Stellung der Halswirbelsäule für das Ausbalanzieren des Sturzhanges zu verwerten, als auch eine allgemeine Orientierung im Raum zu gewinnen - und zwar ohne jemals in dieser Position im Raum umhergeblickt zu haben. Letzteres bedeutet, daß er nicht nur eindeutige Oben-Unten-Relationen erkennt, sondern seine Position in bezug zum Gerät und in Bezug zur Turnhalle identifizieren kann. Ist diese Gewöhnungsstufe erreicht, ist es dem Turner möglich, aus dieser Position heraus Aktionen in beabsichtigte Richtungen auszuführen, etwa eine Bewegung in einen gewinkelten Sturzhang, oder - beispielsweise am Barren - eine Kippstreckung nach vorn oben zur Speichergriffkippe in den Grätschsitz, oder - wieder an den Ringen - eine Körperstreckbewegung nach oben

hinten zum Schleudern in den Langhang. Auch wenn bei den ersten Versuchen dieser oder ähnlicher Aktionen die Raumorientierung wieder verloren gehen kann, wird mit zunehmender Übung vor allem durch somatosensorische Erfahrung die Raumkonstanz wieder aufgebaut, so daß er - ohne sich auf visuelle Kontrolle oder medienbedingte Informationen gestützt zu haben - seine Bewegungen in den ortsfesten Raum "stellen" und die Richtung seiner Aktionen Raumparametern zuordnen kann. Es wäre wenig hilfreich, dem Übenden z.B. beim Schleudern an den Ringen zu empfehlen, sich visuell im Raum zu orientieren, seine Aufmerksamkeit würde unnötigerweise von der somatosensorischen Überwachung der durchzuführenden Aktionen abgelenkt.

(v. HOLST/MITTELSTAEDT 1950; HEIN/HELD 1962; BISCHOF 1966 a; FELDES 1966; KOHLER 1966; ANOCHIN 1967; HASSENSTEIN 1973; SCHMIDT, R.A. 1975; HEUER 1983; WIEMANN 1999).

1,.2.4 Bildung von Invarianten und verbale Codierung

Jedem Wahrnehmungsvorgang liegt - wie schon in Kap. 1.2.1 besprochen - ein Kategorisierungsprozeß zugrunde. Die einlaufenden Sinnesmeldungen werden je nach Art des Informationsgehaltes durch einen Vergleich mit schon gespeicherten Informationen in ein hierarchisch strukturiertes Klassensystem eingeordnet und dadurch die Erkennensleistung gefördert. Dies soll im folgenden zuerst der Einfachheit halber nicht am Beispiel der Bewegungswahrnehmung, sondern an einem Beispiel der visuellen Wahrnehmung verdeutlicht werden. Erst später wird das Gesagte dann auf die Bewegungswahrnehmung übertragen. Die Gründe zu dieser Vorgehensweise werden auch weiter unten geklärt. In Abb. 13, Quadrat Nr. 1 ist ein schwarzweißes Muster dargestellt, das unschwer als eine menschliche Figur zu erkennen ist, d.h., die einlaufenden visuellen Informationen zeigen solche Merkmale, daß das ZNS sie als "menschliche Figur" kategorisiert. Aber auch die von Figur 1 abgeleiteten Darstellungen können, trotz Kontraständerung (2), Abstraktion (3), Verformung (4, 8, 11 und 12), Verdrehung (6), Verkleinerung (7), oder Unvollständigkeit (9, 10) leicht als menschliche Figur identifiziert werden. Offensichtlich verarbeitet das ZNS einzelne allen Abbildungen gemeinsame prägnante Merkmale, die von den durchgeführten Variationen der visuellen Reizkonstellation unabhängig, also invariant sind. Alle visuellen Muster, die diese (invarianten) unabhängigen Merkmale zeigen, werden im Laufe der Wahrnehmungsbildung zu einer gemeinsamen Klasse zusammengefaßt, man spricht von der Invariantenbildung des Wahrnehmungsprozesses.

Der biologische Wert dieses Phänomens liegt in der Unabhängigkeit des Wahrnehmungs- und Erkennensprozesses von zufälligen Variationen des Wahrnehmungsgegenstandes. Diese Fähigkeit zur projektionsunabhängigen Objektidentifizierung hat sich im Laufe der Evolution als nützlicher erwiesen, als eine korrekte proportionale und strukturgetreue Abbildung der physikalischen Gegenbenheiten. Offensichtlich wäre das ZNS überfordert, müßte es für alle nahezu unendlich vielen Abweichungen in der Konstellation der physikalischen Reize jeweils einen gesonderten Identifikationsmechanismus zur Verfügung haben.

Das in Abb. 13 dargestellte Beispiel verdeutlicht einen weiteren Mechanismus des Wahrnehmungsvorganges. Von den dargestellten Figuren werden die Figuren 1 bis 10 als *Läufer* identifiziert. Offensichtlich sind ihnen prägnante invariante Merkmale eigen, die es

ermöglichen, sie in eine Unterkategorie der Klasse "menschliche Figur" einzuordnen. Obwohl objektiv die Änderung der physikalischen Konstellation der Figuren 11 und 12 in bezug zur Ausgangsfigur 1 in manchen Fällen geringer sein mag, als bei den als "Läufer" erkannten Figuren, scheinen ihnen die für Läufer prägnanten Merkmale zu fehlen. Kategoriale Systeme von Invarianten zeigen demnach eine hierarchisch gegliederte Struktur. Subkategorien in der Darstellung menschlicher Figuren lassen sich also in beliebiger Anzahl und beliebiger Schichtung bilden. Neben laufenden, gehenden und werfenden Figuren könnte Abb. 13 erweitert werden, um sitzende, Schlittschuh laufende, turnende und Fußball spielende Figuren, aber auch um Ball werfende, Speer werfende, einen Spannstoß oder einen Kopfstoß ausführende oder eine Staldergrätsche oder eine Schwungstemme turnende Figuren.

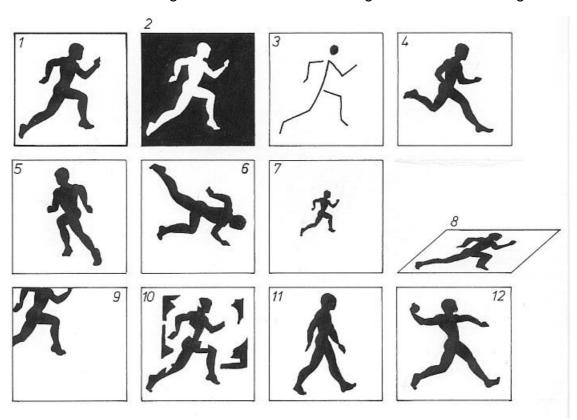


Abb. 13: Beispiel für Invarianten der visuellen Wahrnehmung:
Kann die Reizkonstellation des Symboles im Bildchen 1 als "Läufer" erkannt werden, wird das Symbol trotz Kontraständerung (2), Abstrahierung (3), perspektivischer Verzerrung (5 und 8), Verdrehung (6), Verkleinerung (7) und Unvollständigkeit (9 und 10) anhand prägnanter invarianter Merkmale als "Läufer" identifiziert, im Gegensatz zu den Symbolen 11 (Geher) und 12 (Werfer), die im Vergleich zu Symbol 1 geringere objektive Differenzen der physikalischen Reizkonstellation aufweisen als beispielsweise die Symbole 3, 5 und 8 bis 10, aber nicht deren prägnante, einen Läufer charakterisierende Merkmale transportieren.

Diese Aufzählung weist auf zwei weitere Kennzeichen der Invariantenbildung des Wahrnehmungsprozesses hin:

1. Die Einordnung einer Reizkonstellation in eine Wahrnehmungskategorie kann nur dann erfolgen, wenn das ZNS die zutreffenden prägnanten Merkmale als invariant gespeichert hat. Das mag bei der Wahrnehmung eines Läufers nicht sofort einsichtig zu sein. Wären

auf Abb. 13 jedoch Turner dargestellt, die etwa eine Staldergrätsche oder eine Schwungstemme ausführen, könnte ein Betrachter sie nur dann als Turner klassifizieren, wenn er die prägnanten Merkmale von Turnern oder aber gar von Staldergrätschen ausführenden Turnern erfahren hat. Eine differenzierte Wahrnehmung setzt demnach voraus, daß sich die Gedächtnisspeicher im Laufe der Individualentwicklung mit den für das kategorisierende Erkennen notwendigen Informationen anfüllt - von den als "Schlüsselreize" angeborenen Invarianten abgesehen, die hier nicht diskutiert werden sollen und können. Art und Umfang von Invariantenklassen sowie die Anzahl und Struktur von Unterklassen zeigen demnach erfahrungsbedingte interindividuelle Differenzen.

2. Der Wahrnehmungsprozeß und die damit verbundene kategoriale Einordnung des Wahrgenommenen werden beim Menschen nahezu zwangsläufig mit einer verbalen Kodierung gekoppelt. Das Einlaufen von Meldungen in das ZNS über die visuelle Reizkonstellation der Figur 1 der Abb. 13 löst unweigerlich die interne Repräsentation oder gar externe Produktion sprachlicher Symbole durch Abruf aus dem Gedächtnisspeicher aus, die in der Lage sind, die erkannte Invariante zu charakterisieren, etwa die Begriffe "Mensch" oder "menschliche Figur", "Sportler", "Läufer" oder "läuft". Anderen visuellen Symbolen wird das verbale Symbol "Werfer" oder "wirft", "geht" usw. zugeordnet. Aus diesem Beispiel wird ersichtlich, daß einerseits die verbalen Symbole die gleichen Informationen tragen müssen, die die Zuordnung einer visuellen Reizkonstellation zu einer Invariantenkategorie erlaubt, daß andererseits ein verbales Symbol die gleiche Invarianz, das heißt Unabhängigkeit von zufälligen Variantionen - außerhalb der prägnanten Merkmale - des Wahrgenommenen zeigt, wie das auf dem sensorischen Niveau der Fall ist. Verbale Zeichen korrelieren demnach mit der Konstallation der prägnanten Merkmale des korrespondierenden Wahrnehmungsgegenstandes. Verbalisieren ist identisch mit kategorisieren. Dieses Thema muß uns weiter unten noch ausführlicher beschäftigen.

Ein letztes Charakteristikum der Invariantenbildung, das sich hier schon andeutet, ist die multimodale Transformation. Jeder, der einen bestimmten Buchstaben gelernt hat, kann diesen Buchstaben "lesen", gleichgültig, ob er den Buchstaben visuell erfaßt oder ob er ihn auf den Rücken geschrieben bekommt oder ob er - bei geschlossenen Augen - den Arm derart geführt bekommt, als vollzöge er die Schreibbewegung für diesen Buchstaben. In den beiden letzten Möglichkeiten wird die Tast- bzw. Bewegungsempfindung in ein internes visuelles Bild transformiert, das dann "gelesen" wird. Ähnliches geschieht beim Abtasten von Objekten bei geschlossenen Augen, wobei die Formenkonstanz gewahrt bleibt, d.h. Objekte, die visuell in eine bestimmte Kategorie eingeordnet werden, zeigen die gleiche Klassenzugehörigkeit bei einer Wahrnehmung in einer anderen Modalität.

Die Prinzipien der Invariantenbildung wurden vornehmlich im Rahmen der visuellen, auditiven und taktilen Wahrnehmung bestimmt. Die Untersuchung der Invariantenbildung der Bewegungswahrnehmung stößt auf eine Schwierigkeit, die auch schon im Zusammenhang mit der Interpretation und Klassifikation im Rahmen der Bewegungswahrnehmung

(Kap. 1.2.1) angesprochen wurde: Die Wahrnehmung einer Bewegung (im Sinne der Wahrnehmung einer eigenmotorischen Aktion) setzt immer die Bildung eines internen Modells der Bewegung als Handlungsplan voraus, mit dem die während des Ablaufs der Bewegung einkommenden Meldungen verglichen werden (bzw. - in der Terminologie des vorangegangenen Kapitels - vor der Bildung der Efferenzen wird ein Reafferenzexspektat intern realisiert, mit dem die während des Bewegungsvollzuges einlaufenden Afferenzen verglichen werden). Wird demnach eine Bewegung des eigenen Körpers im Sinne der Eigenmotorik wahrgenommen, erübrigt sich die kategoriale Einordnung des Wahrnehmungsbildes, da diese schon vor dem Bewegungsstart mit der Bildung des Bewegungsmodells (der Bewegungsabsicht) erledigt wurde. Das Konstituieren des inneren Bewegungsmodells, die Programmierung und Durchführung der geplanten Bewegung, die Bildung der Bewegungswahrnehmung und ihr Vergleich mit dem Bewegungsmodell bilden einen einheitlichen Funktionsprozeß. Im Rahmen der Bewegungswahrnehmung sind nur diejenigen Anteile kategorial neu zu erfasssen, die nicht schon Bestandteil des Bewegungsmodells waren, nämlich der exafferentative Anteil, der auf die Wirkung äußerer Störeinflüsse zurückzuführen ist. Invarianten der Bewegungswahrnehmung müssen also immer auch Invarianten des Bewegungsmodells (und der Bewegungskoordination) sein. Um im folgenden dieser Wechselbeziehung gerecht zu werden, ohne jeweils die beiden internen Phänomene Bewegungswahrnehmung und internes Bewegungsmodell nennen zu müssen, soll hier der Begriff des Bewegungsbewußtseins Verwendung finden, der außer anderem auch die beiden vorstehenden mentalen Phänomene umfaßt.

Ein Hinweis auf die Existenz von Invarianten des Bewegungsbewußtseins ergibt sich aus der Betrachtung von Abb. 13, die neben einigen laufenden Personen auch eine gehende und werfende Person wiedergibt. Offensichtlich stellen die zugrunde liegenden motorischen Aktionen Invarianten dar, was nicht nur in bezug auf das Bewegungsbewußtsein gilt, sondern auch in bezug auf die zentralnervösen Programme, die die Koordination der zugehörigen Muskelaktionen besorgen. Kinder können sehr genau ihre eigenen Aktionen sowie diejenigen anderer Personen einer der beiden Kategorien "Gehen" oder "Laufen" zuordnen, was in jedem Spiel, in dem eine der beiden Ationen als unerlaubt gilt, deutlich wird. Trotz dieser Klassifikationsleistung ist Kindern - ebenso wie Erwachsenen, mit Ausnahme einiger Bewegungstheoretiker - auf Anfrage völlig unklar, welche prägnanten Merkmale ein Laufen oder Gehen ausmachen. Ob nun ein Kind, das - sein Verhalten im Spiel rechtfertigend behauptet, es sei nicht gelaufen sondern gegangen, sich bei dieser Aussage auf die Bewegungswahrnehmung oder auf die Bewegungsabsicht (besser: auf das interne Bewegungsmodell) stützt, kann in der Regel nicht entschieden werden. Selbst wenn man bedenkt, daß je nach Spielsituation ein Kind unwillkürlich ("unbeabsichtigt", bedingt reflektorisch) aus dem Gehen ins Laufen verfallen könnte, ist auch in dieser Situation (es fehlt die Bewegungsabsicht) die Präsens des inneren Modells (bzw. der Reafferenzexspektates) als Vergleichsgröße für die Rückmeldung vorauszusetzen, so daß im Laufe von Bewegungen niemals die Situation einer reinen exafferentativen Meldung, wie es etwa häufig bei visueller Wahrnehmung der Fall ist, auftreten kann. Immer erlaubt schon das interne Bewegungsmodell den Zuordnungsprozeß, bevor die zugehörige Bewegungswahrnehmung gebildet ist.

Invarianten des Bewegungsbewußtseins sind wie die genannten Beispiele des Gehens und Laufens die Aktionen der Alltagsmotorik, und zwar sowohl Aktionen komplexerer Struktur als auch einfachste Bewegungsgrundmuster, Aktionen der Arbeitsmotorik und der Sportmotorik. Besonders der Hinweis auf die letztgenannten Motorikbereiche verdeutlicht, daß es oft eines längeren Lernprozesses bedarf, bis sich eine Invariante des Bewegungsbewußtseins gebildet hat. Dieser Bildungsprozeß im Rahmen des Bewegungsbewußtseins ist, wie schon oben erwähnt, kein reiner Perzeptionsprozeß, sondern erstreckt sich über das Funktionsgefüge Antizipation - Realisation - Perzeption - Evaluation - Verbalisation. "Skifahren" ist für denjenigen, der bisher nie Ski gefahren ist, sondern Ski fahren nur durch Beobachten erfahren hat, eine Invariante der visuellen Wahrnehmung. Das ändert sich im Laufe der ersten eigenmotorischen Versuche. In diesem - frühen - Stadium mag ein Parallelschwung immer noch eine Invariante der visuellen Wahrnehmung sein. Erst nach häufigerem eigenmotorischen Bemühen um den Parallelschwung geht dieser auch als Invariante in das Bewegungsbewußtsein ein - verbunden mit der Möglichkeit, Unterkategorien wie Parallelschwung mit geschlossener Skiführung, mit Hochentlastung usw. auszubilden.

An diesem Beispiel zeigt sich die multimodale Natur der Invarianten des Bewegungsbewußtseins, ihre intermodale Transformierbarkeit, ihre Abhängigkeit von der individuellen Erfahrung und nicht zuletzt die zwangsläufige und notwendige Codierung durch verbale Symbole. Da wir uns im folgenden - wie auch bisher - bei der Besprechung der Invarianten des Bewegungsbewußtseins der Sprache bedienen müssen, d.h. bei der Behandlung einer Invarianten der eigenmotorischen Wahrnehmung dasjenige verbale Zeichen verwenden müssen, das der Invarianten eindeutig diejenigen prägnanten Merkmale zuordnet, die sie von anderen Invarianten abgrenzbar machen, scheint es ratsam, die weitere Besprechung der Bewegungsinvarianten und die Behandlung der zugeordneten verbalen Symbole in eine gemeinsame Betrachtung zusammenzufassen.

Die kategoriale Ordnungsarbeit des Wahrnehmungsprozesses des Menschen vollzieht sich auf zwei Ebenen, 1. auf dem **primär-sensorischen** Niveau, das die Ebene der bewußten Registrierung der modalitätsbezogenen Qualitätsunterschiede umfaßt (das durch PAWLOW benannte "1. Signalsystem") und auf dem verbalen Niveau, das die Ebene der sprachlichen Codierung der Wahrnehmung der mentalen Verknüpfung der verbalen Zeichen der Wahrnehmung, Vorstellung und des Denkens umfaßt (das durch PAWLOW benannte "2. Signalsystem").

Zur Einführung in die Problematik der Sprache im Zusammenhang der Neurophysiologie oder des Sports sei auf die Literatur (z.B. HILDENBRAND 1973 und 1976, PICKENHAIN 1980, VOLPERT 1971 und WOHL1977) verwiesen.

Motorische Invarianten konstituieren sich auf dem sensorischen Niveau. Motorische Elementaraktionen werden nach der kategorialen Erfassung mit Speicherung ihrer prägnanten Merkmale zu motorischen Elementarinvarianten. Diese werden zu komplexen motorischen Leistungen verknüpft und diese - wieder nach Herausdifferenzierung und Kategorisierung der prägnanten Merkmale - zu motorischen Komplexinvarianten (Superinvarianten). Das mentale sensorielle Phänomen einer Komplexinvarianten bleibt aber stets die Summe ihrer konkreten Elementarinvarianten. Auf sensorischem Niveau läßt sich eine Oberarmkippe immer nur als Folge der sensoriellen Einzelphänomene mental repräsentieren (sei es als Bewegungswahrnehmung oder als Erinnerungsbild an diese). Es gibt kein sensorielles Phänomen "Oberarmkippe", das einen anderen (einen etwa

auf irgendeine Weise zusammenfassenden, generalisierenden) Inhalt hätte, als die zeitliche Abfolge der sensoriellen Einzelphänomene oder eines Ausschnittes dieser Folge. Die korrespondierende verbale Signalisation zeigt dagegen zwar verbale Zeichen für Elementarinvarianten, aber ebenso Zeichen, die als Zusammenfassungen einzelner Elementarinvarianten zu verstehen sind, also Komplexzeichen bzw. Superzeichen. Verbale Zeichen und Superzeichen wie etwa "Fußball spielen" lassen sich mental repräsentieren und kognitiv verknüpfen, ohne daß eine Dekodierung notwendig wäre. Das gleiche gilt für kategorial untergeordnete Zeichen, wie "Kopfball", "Spannstoß", "Raumdeckung" u.a.m. Auch ihre mentale Repräsentation und kognititve Verknüpfung kann ausschließlich verbal erfolgen. Ein eigenmotorisch sensorielles Bewußtseinsbild "Fußball spielen" existiert nicht. Wird mit dem Superzeichen "Fußball spielen" ein internes Phänomen auf eigenmotorisch sensoriellem Niveau verknüpft, dann kann das nur ein Ausschnitt aus der Bewegungswahrnehmung einer konkreten Bewegungssituation bzw. ein internes eigenmotorisches (sensorielles) Modell einer konkreten Bewegungssituation sein.

Diejenigen sprachlichen Symbole, die den Invarianten des Bewegungsbewußtseins zugeordnet werden, sind die Zeitwörter (= Tätigkeitswörter, Verben). Das wird an den bisher verwendeten Beispielen "gehen" und "laufen" besonders deutlich. Diese Beispiele gestatten jedoch zusätzlich, auf einige Besonderheiten bei der Invariantenbildung des Bewegungsbewußtseins sowie bei ihrer sprachlichen Codierung hinzuweisen.

- 1. Ein sprachliches Symbol für eine Bewegungsinvariante der Alltagsmotorik typisiert jeweils ein Kollektiv von verschiedensten Bewegungssituationen, denen jedoch allen die prägnanten Merkmale der Invariante gemeinsam sein müssen. Wenn es nun im Hinblick auf die menschliche Fortbewegung in aufrechter Körperhaltung völlig ausreicht, ausschließlich die verbalen Zeichen "gehen" und "laufen" zu verwenden ("springen" soll ausgeklammert werden, weil es unten gesondert besprochen wird), so muß das heißen, daß innerhalb dieser Bewegungsgruppe nur Invarianten von zwei Klassen prägnanter Merkmale existieren und daß keine qualitativ andere Fortbewegungsstruktur vorliegt, die nicht in eine dieser Gruppen eingeordnet werden könnte. Die zusätzlich auf diese beiden Bewegungsweisen bezogenen sprachlichen Zeichen kennzeichnen entweder lediglich quantitative Differenzen (schlendern, schreiten, wandern, maschieren ... oder rennen, rasen, sprinten ...) oder bestimmen die mit der Tätigkeit verbundenen emotionalen Begleiterscheinungen und verlieren dabei ihre invariantenbezogene Bedeutung (eilen, hasten, hetzen).
- 2. Steht in der Umgangssprache für eine Invariante mit einem Kollektiv von Variationsformen nur ein verbales Zeichen zur Verfügung (z.B. "springen"), werden die in der Alltagsmotorik auftretenden Variationsformen durch zusätzliche Information chrakterisiert: "aus dem Stand springen", "aus dem Lauf springen", "mit einem Bein springen", "niederspringen", "hochspringen" u.a.m. Offensichtlich hat es sich im Selektionsprozeß, dem auch die Entwicklung der Sprache unterliegt, als nützlicher erwiesen, das Symbol für eine Invariante, die eine typische Konstellation prägnanter Merkmale vereinigt, konstant zu halten und die Varianten durch Zusatzsymbole zu charakterisieren, als für jede Variante ein eigenes unverwechselbares Symbol zu benutzen. Für eine Informationsübertragung im Kommunikationsprozeß bedeutet dies einen entscheidenden Vorteil. Da die verwendeten Zusatzsymbole auch zur Charakterisierung anderer, nicht der Invariante zugehöriger Situationen dienen können, kann man auf diese Weise mit einer geringeren Anzahl von Zeichen durch Neukombination eine größere Anzahl von Situationen kennzeichnen, ohne

einen störungsbedingten Informationsverlust befürchten zu müssen, wie es im anderen Fall, bei einer Nutzung je eines spezifischen Zeichens für jede Situationsvariante gegeben wäre. (Zu den Grundlagen der Informationstheorie sei auf die Fachliteratur verwiesen). Dieses Entwicklungsergebnis läßt allerdings auch vermuten, daß die mit "springen" gekennzeichnete Invariante eine solch typische, wenn nicht "einmalige" Kombination prägnanter Merkmale besitzt, daß sich das zugehörige Zeichen allen weiteren Modifikationsversuchen in der Umgangssprache erfolgreich widersetzt hat.

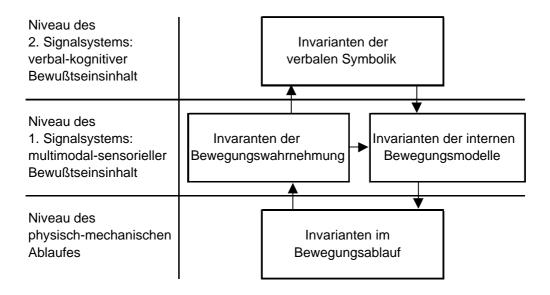


Abb. 14: Abhängigkeit interner und externer Invarianten

Für die Fachsprache gelten diese Regeln im allgemeinen nicht. Hier ist es das Ziel der terminologischen Bemühungen, jeder eindeutigen Variationsform einer sportmotorischen Fertigkeit ein eindeutiges Symbol zuzuordnen, wobei das Tätigkeitswort substantiviert wird: "Schlußsprung", "Hochsprung", "Hangsprung", "Hitch-Kick" oder gar "Hangsprung mit 1/2 Hitch-Kick in der Variationsform des Sportlers A". Auch für die mannigfaltigen Variationsmöglichkeiten der Invariantenkategorie "werfen" existieren in der Umgangssprache keine speziellen verbalen Symbole. Das Symbol "schleudern" läßt zumindet eines der prägnanten Merkmale eines Werfens, nämlich den freien Flug des Wurfobjektes, unberücksichtigt. Auch hier sind Bezeichnungen von Subkategorien oder Bewegungsspezialformen substantiviert und entstammen der Fachsprache: "Druckwurf", "Schlagwurf", "Sprungwurf" usw. Die verbalen Zeichen für die in Abb. 9 und Abb. 10 herausgestellten Einzelaktionen des Körpers codieren in erster Linie Invarianten. Es ist unschwer zu erkennen, welche verbalen Zeichen der Umgangssprache und welche der Fachsprache entnommen sind und welche Zeichen einer sich oft regional bzw. in Sportgruppen spontan entwickelnden Sportumgangssprache entstammen, die in der Lage ist, die betreffenden Invarianten durch Verwendung von Metaphern zu typisieren.

3. Die für die Invarianten des Bewegungsbewußtseins verwendeten sprachlichen Symbole erfüllen nur dann ihren Zweck, wenn sie im Empfänger der Signale die gleichen sensorischen Bewußtseininhalte wachrufen wie der Ablauf der Bewegung selbst, so daß der Empfänger auf das Signal hin ein entsprechendes internes Bewegungsmodell realisieren und die äußere Bewegung durchführen kann, deren Ablauf Ursache zur entsprechenden Bewegungswahrnehmung ist (Abb. 14). Das verbale Zeichen "springen" enthält neben wenigen räumlichen besonders dynamische Information. "Springen" bedeutet eine Streckaktion eines Beines oder beider Beine von einer solchen Intensität, daß der Körper sich nach der Aktion für einen Augenblick im freien Flug befindet. Zusätzlich bedeutet "springen" das Ausführen eines Armschwunges von einer an die Streckaktion der Beine angepaßten Dynamik, die so geartet ist, daß die Streckaktionen der Beine optimal unterstützt werden. In der Regel beinhaltet die Invariante "springen" zusätzlich noch räumliche Informationen über Ausholbewegungen, Richtung des Armschwunges u.a.m.

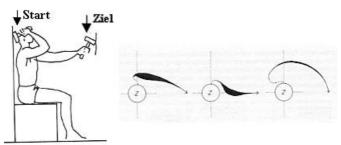


Abb. 15: *linke Figur:* Versuchsstand zur Überprüfung rümlich-dynamischer Informationen von Verben *rechte Symbole:* Räumliche und dynamische Charakteristika der motorischen Invarianten "schlagen" (links), "stoßen" (mitte) und "schwingen" (rechts), Modalwert von jeweils 120 Abläufen aus unterschiedlichen Arm- und Beinpositionen. Z symbolisiert das Körperzentrum bzw. das proximale Gelenk der bewegten Gliedmaße. Die Strichbreite symbolisiert die Beschleunigung (WIEMANN 1988)

Um die Beziehung zwischen Bewegungsinvariaten und verbalen Zeichen bestimmen zu können, wurde von uns folgender Versuch durchgeführt. Die Versuchspersonen saßen in aufrechter Haltung und hielten die rechte Hand mit einer leichten Hantel in Schulterhöhe (Abb. 15). Auf ein Zeichen hin mußten die Versuchspersonen mit der Hantel ein Ziel treffen, indem sie aufgefordert wurden, mit der Hantel gegen das Ziel zu "schlagen" oder zu "stoßen" oder zu "schwingen" oder zu "drücken" ... Mit Bewegungsbeginn wurde eine Glimmlampe an der Hantel eingeschaltet, die mit dem Auftreffen auf das Ziel wieder abgeschaltet wurde. Die entstehende Leuchtpunkt-Spur wurde fotografisch registriert. Es zeigte sich, daß alle Versuchspersonen hoch signifikant gemeinsam bei der Aufforderung "schlagen" die Hantel von der Ausgangsstellung geradlinig oder schwach bogenförmig gegen das Ziel bewegten, wobei die Beschleunigungsmaxima im 1. Drittel der Bewegung lagen. Die Aufforderung "stoßen" zeigte eine hoch signifikante wellenförmige Spur (Abb. 15) mit den Beschleunigungsmaxima im mittleren oder letzten Drittel der Bewegung. Die Aufforderung "schwingen" produzierte einen kreisförmigen Verlauf mit eher verhaltener Dynamik. Tätigkeitswörter wie "drücken", "kicken" und "spuchten" erzeugten bei den Versuchspersonen keine übereinstimmenden Verhaltensweisen.

Aus dem Ergebnis kann gefolgert werden, daß zumindest in der dem Versuch zugrunde liegenden Situation ein Schlagen eine dynamische Aktion tangential zum Körperzentrum mit hoher anfänglicher Beschleunigung, ein Stoßen eine dynamische Aktion radial vom Körperzentrum weg mit Beschleunigungen im mittleren Bereich der Bewegungsamplitude darstellt. Gleiche Ergebnisse wurden erzielt, wenn Versuchspersonen die Bewegungen aus einer anderen Ausgangssituation (z.B. aus der Tiefhalte, der Seithalte u.a.) starteten odermit den Beinen (aus dem Stand, aus der Kipplage, aus dem Sturzhang u.a.)ausführten. Ob sich diese Ergebnisse weiter (z.B. Kopf"stoß" beim Fußball u.a.) verallgemeinern lassen, kann nur vermutet werden. Zum Zwecke einer treffsicheren Formulierung von Ausführungsvorschriften wären weitgehendere Kenntnisse

- sicher wünschenswert (siehe Kap.). In ähnlicher Weise müßte geprüft werden, ob der Informationsgehalt von Tätigkeitswörtern altersspezifische, gruppenspezifische und regionale Differenzen zeigt.
- 4. Entsprechend der unterschiedlichen Orientierung der Bewegungswahrnehmung lassen sich zwei Gruppen von Verben zur Charakterisierung von motorischen Elementaraktionen feststellen: In der einen Gruppe ist der Informationsgehalt des Verbs auf die durch die Elementaraktion erreichte Endstellung bzw. Zielstellung bezogen wie z.B. beugen, winkeln, strecken, dehnen, abklappen u.a. Die von diesen Verben übermittelte Information betrifft vornehmlich die Raumkomponente der Bewegungswahrnehmung, das korrelierende Wahrnehmungsbild ist eher resultatorientiert. Die zweite Gruppe von Verben beschreibt dagegen ein ablauforientiertes Wahrnehmungsbild, die diesen Verben immanenten Informationen beziehen sich vornehmlich auf den Prozeß der zu beschreibenden Aktion wie z.B. schlagen, stoßen, drücken, schieben, schleudern, schwingen, ziehen, reißen u.a. Neben Informationen über die Raumkomponente in der zugeordneten Bewegungswahrnehmung vermitteln sie besonders die zugrundeliegende Kraftkomponente. Die Verwendung von Verben der ersten Gruppe verlangt in der Regel eine Zusatzinformation über dynamische Phänomene, die Verwendung von Verben der zweiten Gruppe kann eine zusätzliche räumliche Information notwendig machen.

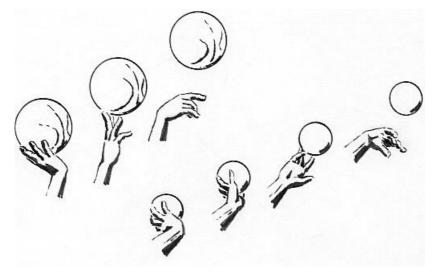


Abb. 16: Endphase eines Basketballwurfes und eines Kugelstoßes

Die Beschreibung des Wahrnehmungsbildes gegen Ende der Wurfaktion beim Basketballpositionswurf kann - resultatorientiert - lauten: "Am Ende des Wurfes klappt das Handgelenk ab." Ablauforientiert würde die Aktion, die zwangsläufig zum Abklappen des Handgelenkes führt, beschrieben: "Am Ende des Wurfs gibt der Mittelfinger dem Ball den letzten
Druck" o.ä. (s. Abb. 16). Entsprechendes gilt z.B. auch für das Kugelstoßen, wo sich
- resultatorientiert - vom "Brechen" des Handgelenkes oder - ablauforientiert - vom federnden "Wegschnellen" der Kugel durch die Finger (Abb. 16) sprechen läßt.

5. Eine Invariante der Bewegungswahrnehmung kann aus einem Komplex von Elementarinvarianten gebildet sein. Das gilt sowohl für solche grundlegenden Invarianten wie "gehen", "laufen", "springen" und "werfen", als auch für sportmotorische Techniken. Die Invariante "mit einem Bein" "springen" umfaßt Elementarinvarianten wie (den Gegenarm vor-)"schwingen", (das Spielbein vor-)"schwingen", (mit dem Sprungbein ab-)"stoßen" u.a.m. Von den Elementarinvarianten, aus denen sportmotorische Fertigkeiten zusammengesetzt sind, wurden in Abb.9 und Abb.10 ausreichende Beispiele gegeben. Während nun die Elementarinvarianten der

Invariante "gehen" aufgrund ihrer alltäglichen Selbstverständlichkeit kaum einem Menschen je deutlich ins Bewußtsein dringen - es sei denn, er ist darin geübt, seine Bewegungen bewußt zu überwachen -, werden die Elementarinvarianten der Invariante "Rückenstoßtechnik" wohl nur für den Leistungsportler denjenigen Grad an Selbstverständlichkeit erlangen, wie das für die Alltagsinvariante "gehen" generell der Fall ist. Aus diesem Grunde und aufgrund der Tatsache, daß sich "gehen" im ersten Lebensjahr unreflektiert entwickelt, während man "Rückstoßtechnik" unter Aufmerksamkeitslenkung auf einzelne Elementarinvarianten erlernen muß, fällt es in der Regel dem Bewegungsbewußtsein leichter, die Elemente der Rückstoßtechnik klar hervorzuheben, als diejenigen des Gehens, Laufens oder Werfens. Das wird auch durch folgende Beobachtung verdeutlicht: Beauftragt man Personen, vorzumachen, "wie man richtig geht", kann es geschehen, daß die produzierten Aktionen nicht mit den Aktionen übereinstimmen, die sie bei unreflektiertem Gehen produziert hätten. Das kann sogar bei Sportlern beobachtet werden, die daran gewöhnt sind, sportmotorische Fertigkeiten vorzuzeigen. Offensichtlich können diejenigen Personen zwar gehen, aber sie wissen nicht, "wie man geht". D.h. in der hier zugrunde liegenden Terminologie: Die Invariante "gehen" erscheint nur als Einheit im Bewegungsbewußtsein und kann nicht oder nur lückenhaft in ihre Elementarinvarianten aufgespaltet werden bzw. "gehen" stellt als angeborenes Grundmuster selbst eine Elementarinvariante dar. Erst ein Lernprozeß scheint auch hier die Bildung von "Unter"-Invarianten des Bewegungsbewußtseins zu garantieren.

- 6. Ein präzises Zuordnen von verbalen Zeichen auf Phänomene des Bewegungsbewußtseins scheint übungsabhängig zu sein. Personen, die nicht daran gewöhnt sind, den Ablauf ihrer Bewegungen bewußt zu überwachen, können innerhalb des Komplexes ihrer Bewegungswahrnehmung nur Invarianten übergeordneter Kategorien identifizieren und benennen. Je mehr ein Sportler in seinem sportmotorischen Entwicklungsprozeß angehalten wird, seine Konzentration auf Einzelphänomene der verschiedensten Bewegungsabläufe zu richten, desto eher ist er in der Lage, Subkategorien von Invarianten in der Bewegungswahrnehmung zu bilden, in den verschiedensten Bewegungsituationen zweifelsfrei zu identifizieren und treffsicher zu verbalisieren. Dabei helfen ihm nicht nur eine differenzierte invariantenspezifische Anwendung der Symbole der Umgangssprache und der mit dem sportmotorischen Entwicklungsgang angereicherte Schatz an Symbolen der Fachsprache, sondern auch die Fähigkeit, subkategoriale Invarianten trotz fehlender spezifischer Symbole der Umgangssprache durch Verwendung passender aus seinen eigenmotorischen Erfahrungen entspringender Metapher zu umschreiben. Diese Überlegungen geben gute Gründe zu der Forderung, daß Sportlehrer und Trainer, deren Lehrerfolg u.a. von einer optimalen Instruktion der Schüler abhängt, sich durch eigenmotorische Bemühungen in den verschiedensten Bewegungssituationen ein invariantenreiches Bewegungsbewußtsein schaffen sollten.
- 7. Der Schatz an Invarianten des Bewegungsbewußtseins (wie auch der gesamte Schatz aller Wahrnehmungsinvarianten) baut sich im Laufe der Individualentwicklung auf. Kleinkinder, die zum ersten Mal frei gehen, erfahren nicht nur die tyischen sensorischen Charakteristika dieser Bewegungsweise, sondern lernen im sozialen Umfeld ("Du kannst je schon gehen!" "Gehe vorsichtig!"...) auch das zugeordnete verbale Zeichen. Sobald sie in späteren Entwicklungsphasen zusätzlich zum Gehen auch Laufschritte ausführen können, werden die Differenzen bzw. die prägnanten Merkmale, die beide Aktionen voneinander unterscheiden, in das Bewegungsgedächtnis aufgenommen (Interindividuelle Variationen innerhalb dieses Entwicklungsverlaufes dürfen nicht übersehen werden!). In ähnlicher Weise baut sich im Laufe der motorischen Entwicklung durch das Wechselspiel von

täglicher Bewegungspraxis und ständiger verbaler Kommunikation in dere Sozietät der zur Bewältigung der Alltagsgeschäfte notwendige "Schatz" von motorischen Invarianten auf, der zusätzlich die Basis für einen sportmotorischen Werdegang bilden kann.

(PICKENHAIN 1959; FELDES 1966; KOHLER 1966; MEINEL 1971; VOLPERT 1971; KAMINSKI 1972 und 1973; JUNG 1972; HILDENBRANDT 1973 und 1976; WOHL 1977; BAUMGARTNER 1978; HEDIGER 1978; KORNHUBER 1978 (b); HORN 1980; WIEMANN 1988).

2 Bewegungsvorstellung

Will man nachprüfen, was ein Sportler beispielsweise während eines Kugelstoßes wahrnimmt, so kann der Sportler erst nach Abschluß der Bewegung darüber Auskunft geben. D.h. er erinnert sich an seine während des Kugelstoßes realisierte Wahrnehmung und versucht, diese in Worte zu fassen. Hier zeigt sich ein entscheidender Unterschied zu den häufigsten Fällen der visuellen Wahrnehmung, bei denen man ein ständig vor sich befindliches Sehobjekt anschauen und das bestehende Wahrnehmungsbild beschreiben kann. Lediglich die Aufgabe, über ein nur kurz dargebotenes Sehding Auskunft zu geben, ähnelt der Aufgabe, über eine Bewegungswahrnehmung zu berichten: man muß sich an das Bild erinnern, sich eine Vorstellung vom wahrgenommenen Bild machen, um es beschreiben zu können. In gleicher Weise muß ein nach seiner Bewegungswahrnehmung befragter Sportler das Wahrnehmungs"bild" der Bewegung in die Erinnerung rufen, sich die durchgeführte Bewegung vorstellen, bevor er in der Lage ist, über die Art der Wahrnehmung Auskunft zu geben. Das gilt selbst auch für über längere Zeit sich wiederholende sogenannte zyklische Bewegungsabläufe: Immer beschreibt man den gerade abgeschlossenen Zyklus - einen Laufschritt, einen Schwimmbeinschlag, eine Zugbewegung beim Rudern. Man kann jedoch den Ablauf des nächstfolgenden Zyklus abwarten, um die dabei produzierte Wahrnehmung - jedoch auch nur wieder im Nachhinein - in die Beschreibung mit einzubringen.

Die psychische Erscheinung, die daraus resultiert, daß Sinneseindrücke, die vor kürzerer oder längerer Zeit wahrgenommen wurden, wieder ins Bewußtsein gerufen werden oder "von selbst" im Bewußtsein erscheinen, wird in der Psychologie "Vorstellung" genannt. Das Erinnerungsbild an Sinneseindrücke, die im Laufe von Eigenbewegungen zu einer Bewegungswahrnehmung führten soll hier "Bewegungsvorstellung" oder "eigenmotorische Vorstellung" genannt werden. "Bewegungsvorstellung" ist gemäß der hier verwendeten Definition von Bewegungswahrnehmung (s. Kap. 1.2) nicht die Erinnerung an visuelle Eindrücke aus einer Beobachtungssituation, z.B. die Erinnerung eines Trainers an den Bewegungsablauf eines trainierenden Hochspringers, oder die Erinnerung eines Schülers an das visuelle Bild einer vom Lehrer vorgeturnten Rolle vorwärts. Als Bewegungsvorstellung (bzw. eingenmotorische Vorstellung) soll hier ausschließlich dasjenige Bewußtseinsphänomen gelten, das in Abwesenheit von Sinneseindrücken durch die gedächtnismäßige Reproduktion derjenigen

Wahrnehmung gebildet wird, die während des Ablaufes einer motorischen Fertigkeit vom Ablauf eben dieser motorischen Fertigkeit auftrat.

Da die Bewegungsvorstellung eine Reproduktion der Bewegungswahrnehmung ohne Produktion der zugehörigen Bewegung durch den Bewegungsapparat darstellt, demnach eine Leistung nur des zentralen Nervensystems ist, wird auch von zentraler Reproduktion (bzw. zentraler Repräsentation) der Bewegung bzw. ihrer sensorischen Konsequenzen gesprochen. Da demnach ein äußerlich sichtbarer Bewegungsablauf fehlt, lassen sich auch die Begriffe der internen Reproduktion der internen Repräsentation bzw. oder der internen Realisation der Bewegung verwenden - im Gegensatz zum externen Ablauf bzw. zur externen Realisation der Bewegung, des realen, durch die Aktionen des Bewegungsapparates in der Umwelt erzeugten Bewegungsvollzuges. Gemäß der Tatsache, daß sich die Bewegungsvorstellung aus dem multimodalen Komplex der ins Bewußtsein gedrungenen und gespeicherten Reafferenzen einer Bewegung zusammensetzt, läßt sich auch der Begriff des "internen Bildes des Reafferenzkomplexes" (der Reafferenzstruktur) einer Bewegung verwenden. In besonders deutlicher Weise charakterisiert der in der englisch sprachigen Literatur auf die entsprechenden internen Phänomene angewendete Begriff des "image of response feedback" das, was hier unter dem Begriff "Bewegungsvorstellung" gemeint ist. Geht man von der Auffassung aus, daß "Kinästhesie" die Gesamtheit der während einer Bewegung einlaufenden Meldungen darstellen, wäre auch der Begriff der "kinästhetischen Vorstellung" erlaubt (s. jedoch die einschränkenden Bemerkungen zur unterschiedlichen Verwendung des Kinästhesiebegriffs in der Einleitung zu Kap. 3.5). Über weitere Begriffe, die im Sinne oder in Abgrenzung des hier benutzten Begriffes Bewegungsvorstellung verwendet werden, wie Bewegungsmodell, Bewegungsentwurf, Bewegungsplan, Bewegungsprogramm usw., wird weiter unten noch eingegangen. (GREENWALD 1970; VOLPERT 1971; LEIRICH 1973; WIEMANN 1975; RÖTHIG 1983⁵; NICKEL 1984).

Aus der vorstehenden definitorischen Abgrenzung wird der enge Zusammenhang zwischen Bewegungswahrnehmung und Bewegungsvorstellung deutlich. Vielfach sind diejenigen psychischen Phänomene, die im Zusammenhang mit der Bewegungswahrnehmung besprochen wurden, gleichzeitig auch oder ausschließlich nur Erscheinungen der Bewegungsvorstellung (s.o.). Teilweise wurde bisher schon aufgrund der problematischen Zuordnung eines Bewußtseinsinhaltes zu einem der beiden mentalen Phänomene der übergeordnete Begriff "Bewegungsbewußtsein" verwendet: Ausschließlich diejenigen Bewußtseinserscheinungen, die während des Ablaufes eines elementaren Bewegungsaktion die durch sie selbst verursachten sensorischen Meldungen begleiten, können der Bewegungswahrnehmung zugeordnet werden. Somit dauert ein Phänomen der Bewegungswahrnehmung im Minimum die Zeitspanne eines physiologischen Augenblicks, im Maximum jedoch bis zu dem Zeitpunkt, von dem für die Zeitspanne eines physiologischen Augenblickes ein anderes Phänomen Gegenstand der Bewegungswahrnehmung ist. Die Wahrnehmungsinhalte vergangener physiologischer Momente können - sofern sie gespeichert wurden - nur wieder als Bewegungsvorstellung (im hier definierten Sinn) ins Bewußtsein gehoben werden. Nimmt man z.B. an, daß der in Abb. 10 dargestellte Turner gegenwärtig den Bewegungsakt Nr. 8 bewußt wahrnimmt, dann gehören zumindest schon die Bewegungsakte 1, 3, 4, und 6 der Vergangenheit an. Die mit dem Ablauf dieser vergangen Aktionen verbundenen psychischen Phänomene können nur wieder aus dem Gedächtnis ins Bewußtsein zurückgeholt werden und sind dann Bewegungsvorstellungen. Ebenso können jedoch die in der Zukunft liegenden Aktionen (in Abb. 10 die Elementaraktionen Nr. 12 und 13 bis 17) - sofern der Turner sie schon einmal bewußt wahrgenommen und die Wahrnehmung gespeichert hat, was bei einem Turner mit dem in Abb. 10 dargestellten Fertigkeitsniveau stets der Fall ist - ins Bewußtsein gehoben werden, vorausschauend bzw. vorausnehmend - antizipierend. Auch diese Bewußtseinphänomene müssen der Bewegungsvorstellung (im hier definierten Sinn) zugerechnet werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß zwei Bedingungen erfüllt sein müssen, wenn eine sensorische Meldung (bzw. eine Bewegungsafferenz) als Teil einer Bewegungsvorstellung wieder im Bewußtsein auftreten soll, nämlich einerseits die Zugehörigkeit bzw. eine in der Vergangenheit liegende "Teilhabe" an einer bewußten Bewegungswahrnehmung und - darüber hinaus - die erfolgte Speicherung der Bewegungswahrnehmung im Langzeitgedächtnis.

(MAYER 1913; KOHL 1956; PUNI 1958; VOLPERT 1971; LEIRICH 1973; MEINEL 1977; WOHL 1977; KOHL 1977).

2.1 Komponenten und Faktoren der Bewegungsvorstellung

Als Abbild der Bewegungswahrnehmung beinhaltet die Bewegungsvorstellung räumliche, dynamische und zeitliche Komponenten, wie sie im Laufe einer Bewegung bewußt registriert und gespeichert werden, in der Regel jedoch nicht in der gleichen Abbildungsschärfe bzw. nicht im gleichen Grad der Anschaulichkeit. In gleicher Weise wie bei der Aufmerksamkeitslenkung während der Wahrnehmung von Bewegung kann sich bei der Produktion einer Bewegungsvorstellung das Bewußtsein während eines physiologischen Momentes nur auf einen Vorstellungsinhalt konzentrieren. Da man jedoch bei der internen Realisation einer Bewegung von den mechanischen Bedingungen der Umwelt unabhängig ist, gelingt es, den internen Ablauf einer Bewegung an jeder beliebigen Stelle "anzuhalten", dann *nacheinander* diejenigen Elementaraktionen bzw. Elementarinvarianten abzurufen, die im realen Vollzug gleichzeitig ablaufen (aber nicht gleichzeitig bewußt wahrgenommen werden können), um dann mit der Bewegung "intern" im realen räumlich-zeitlichen Verhältnis fortzufahren. Während man beispielsweise bei einer realen Kugelstoßbewegung nicht gleichzeitig die Aufmerksamkeit auf die Drehstreckbewegung des Stoßbeines und auf die Ausstoßbewegung des Stoßarmes richten, sondern beide Aktionen nur in je einem getrennten Ablauf komplett wahrnehmen kann - im 1. Ablauf beispielsweise das Drehstrecken, im 2. Ablauf dann das Ausstoßen -, läßt sich bei der internen Realisation die Aufmerksamkeit zuerst auf das Drehstrecken richten. Dann wiederholt man in der Vorstellung diese Phase und konzentriert sich dabei auf das Ausstoßen und beendet den weiteren Ablauf in der Vorstellung (Abb. 17). Daraus wird deutlich, daß die Bewegungsvorstellung - also der interne Bewegungsablauf zwar in der gleichen Zeitspanne ablaufen kann wie die Bewegungswahrnehmung - also wie die reale externe Bewegung. Aber sie muß es nicht notwendigerweise. Statt dessen läßt sich jede Bewegung in der Vorstellung beliebig zeitdehnen. Diese Zeitdehnung kann sowohl einen zeitlupenartigen Ablauf der (internen) Bewegung bedeuten oder aber einen Ablauf in der realen Geschwindigkeit, jedoch mit beliebig häufigem Stillstand, mit Wiederholungen und Auslassungen, darstellen.

Die Unabhängigkeit einer internen Bewegung von den physikalsichen Umweltbedingen kann auch bedeuten, daß Aufmerksamkeit erzwingende Situationen des realen Ablaufes in der Vorstellung ihren bewußtseinslenkenden Einfluß einbüßen. So kann derjenige Turner, der beim Üben der Stützkehre nicht in der Lage ist, seine Beinhaltung in der Drehphase bewußt zu überwachen, weil das gleichzeitig ablaufende Umgreifen seine Aufmerksamkeit erzwingt, in der Vorstellung durchaus eine Stützkehre mit bewußt kontrollierten korrekter Beinhaltung realisieren - sofern sich die Aufmerksamkeitslenkung auf das Umgreifen nicht schon automatisiert hat (s.u.).

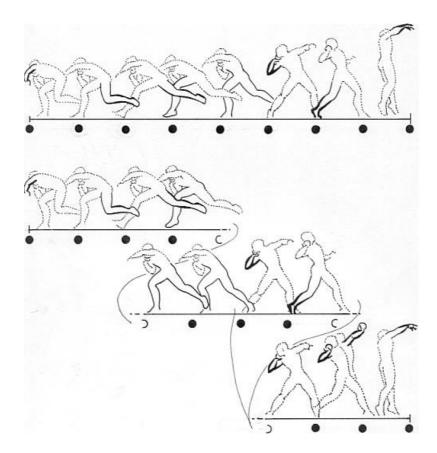


Abb. 17: Angenommener Inhalt eines Wahrnehmungsbildes und eines Vorstellungsbildes während bzw. nach Ablauf einer Kugelstoßbewegung.

Obere Zeile: Wahrnehmungsbild. Darunter: Vorstellungsbild. Die Punkte verdeutlichen den Zeitabstand je eines physiologischen Augenblicks. Die Stärke der Linienzüge der Figuren charak-terisieren die "Schärfe" des jeweiligen Bewußtseinsphänomens über die zugrunde liegende Elementaraktion. Die punktierten Linien weisen auf Aktionen hin, die nicht Bestandteil des Bewußt- seinsbildes sind. Das dargestellt Vorstellungsbild enthält im Gegensatz zum Wahrnehmungsbild eine zeitgedehnte Phase (Stoßauslage) und eine Phasenwiederholung mit geänderter Aufmerksamkeitslenkung (Stoßphase; 1. interne Realisation mit Konzentration auf das Drehstrecken. 2. interne Realisation mit Konzentration auf das Ausstoßen). Bei der Bewertung der Abbildung ist zu berücksichtigen, daß Bewegungswahrnehmungen bzw. Bewegungsvorstellungen keine visuellen Bilder darstellen, sondern sich vornehmlich aus somatosensorischen ("kinästhetischen") Meldungen mit Betonung der dynamischen Komponenten rekrutieren. Somatosensorische Wahrnehmungsinhalte lassen sich jedoch nicht bildnerisch darstellen - allenfalls verbal charakterisieren wie in Abb. 9 -, so daß die Abbildungen nur als modellhafte Orientierungshinweise dienen können.

Auch die dynamische Komponente der Bewegungsvorstellung muß aufgrund der Unabhängigkeit von der mechanischen Umwelt nicht die gleiche Quantität einnehmen, in welcher sie in der Bewegungswahrnehmung auftrat. So läßt sich in der Vorstellung eine jede sportmotorische Fertigkeit "müheloser" realisieren als in der Realität. Selbstverständlich gilt auch der gegensätzliche Fall: Man kann sich im Laufe einer internen Realisation einen stärkeren Krafteinsatz vorstellen, als es zum Erreichen des Bewegungszieles in der Realität notwendig ist. Aus den Beispielen zu den besonderen Bedingungen der Komponenten der Bewegungs-

vorstellung wird gleichzeitig die Besonderheit in der Bewußtseinslenkung bzw. der Selekion der Vorstellungsinhalte deutlich: Während im Laufe realer Bewegungen die Motivation die Meldungen mit Neuigkeitswert selektiv fördern - wobei neben der Motivationslage des Perzipienten die aktuelle Umweltsituation eine Determinante für den Informationswert darstellt - und zur Bewegungswahrnehmung synthetisieren, werden bei der Produktion einer Bewegungsvorstellung (bekannte) Inhalte aus dem Gedächtnis abgerufen, wobei eine Selektion allein durch die Motivation bestimmt wird. Die Erfahrung lehrt allerdings, daß sich Selektionsgewohnheiten der Bewegungswahrnehmung auch bei der Produktion von Bewegungsvorstellungen durchsetzen. Wer gewohnt ist, im Laufe des Absprunges zum Flick-Flack seine Aufmerksamkeit stets auf den Armschwung zu richten und die Meldungen über die Absprungaktion zu vernachlässigen, zeigt auch bei der Produktion der Bewegungsvorstellung zum Flick-Flack die Tendenz zur Überbewertung des Armschwunges.

In Kap. 1.2.1 wurde die Vermutung geäußert, daß sich die Aufmerksamkeitslenkung im Laufe von sportmotorischen Fertigkeiten automatisieren kann. Wer immer und ausschließlich beim Kugelstoß seine Aufmerksamkeit auf die Austoßbewegung mit dem Stoßarm gerichtet hat, ist nicht mehr oder nur unter starker Willensleistung in der Lage, die Aufmerksamkeit vom Stoßarm abzuziehen und auf das Drehstrecken des Stoßbeines zu richten. Ob diese Automatisierung auf die Produktion der Bewegungsvorstellung eine Auswirkung hat, kann hier nicht entschieden werden, weil entsprechende Erfahrungen fehlen bzw. einschlägige Untersuchungen nicht bekannt sind. Es läßt sich jedoch vermuten, daß in demjenigen Fall eine Umlenkung der Aufmerksamkeit nicht möglich ist, in dem der auslösende Reiz (Stimulus) für das Richten der Aufmerksamkeit auf den Stoßarm ein internes, mentales Phänomen ist, etwa die Bewegungsvorausnahme der Stoßauslage. Im anderen Fall, bei dem die Aufmerksamkeitslenkung auf den Stoßarm auf ein äußeres Signal bzw. auf eine durch den Ablauf vorangehender Aktionen erzeugte Afferenz konditioniert wurde, scheint bei der Produktion einer Bewegungsvorstellung eine Umlenkung der Aufmerksamkeit möglich, da in diesem Fall der äußere Reiz fehlt, der die (automatisierte) Aufmerksamkeitslenkung auslösen würde.

Es gibt Anzeichen und Hinweise dafür, daß sich Bewegungen der Erbmotorik (z.B. aufrechter Gang) und Bewegungen, die sich im Laufe der Entwicklung und während des alltäglichen Verhaltens ohne bewußte Ablaufkontrolle automatisiert haben, weniger scharf bzw. weniger detailliert in die Vorstellung heben lassen, als solche, die unter gezielter Lenkung der Aufmerksamkeit auf den Ablauf erlernt wurden.

Dies lehrt vor allem die Alltagsmotorik: Wer seit seiner Kindheit täglich seine Schuhe per Schleife gebunden hat, ist auf Anfrage nicht in der Lage, den Ablauf der einzelnen Aktionen aus der Erinnerung zu beschreiben. Wenn er dann versucht, eine Schleife unter bewußter Kontrolle zu binden, um die Bewegungsfolge erkennen und erläutern zu können, wird er feststellen, daß der Ablauf recht stockend vonstatten geht. Es kann es sogar geschehen, daß der Ablauf völlig mißlingt. Erst wenn man sich vornimmt, die Aktionen spontan und ohne nachzudenken ablaufen zu lassen, wird die Bewegung wieder zügig und fließend zum Erfolg führen. Gleiches kann bei der unter der Kontrolle des Bewußtseins durchgeführten Produktion von angeborenen Grundmustern geschehen. (Diese Beobachtungen haben bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts - wenn auch unter zur damaligen Zeit noch unzutreffenden Erklärung der Funktion des Gehirns - Anlaß zu literarischen und philosophischen Exkursen über den angeblichen Widersteit von Körper und Geist gegeben; s. CHRISTIAN 1948, PLÜGGE 1963) Auch wenn dieses Beispiel zum Teil Fragen der Auslösung und Steuerung von Bewegungen berührt, kann es hier die Abhängigkeit der Bewegungsvorstellung vom Automatisierungsgrad motorischer Abläufe demonstrieren, d.h., mit zunehmender Übung perfektioniert sich die Bewegungsvorstellung, mit zunehmender Automatisierung kann sie wieder verblassen. Daraus läßt sich folgern, daß es für einen Leistungssportler u.U. vorteilhaft ist, wenn seine Bewegungen in höchstem Automatisierungsgrad ablaufen (auch wenn die

zugehörigen Bewegungsvorstellung verblassen), daß aber der Sportlehrer, der dem Schüler zur Bildung einer korrekten Bewegungsvorstellung verhelfen will, sehr wohl in der Lage sein sollte, sich alle Abschnitte der zu vermittelnden Fertigkeit eigenmotorisch-intern repräsentieren zu können (WIEMANN 1988).

Werden von einem Sportler die im Laufe einer bestimmten sportmotorischen Fertigkeit ankommenden Meldungen stets zu einer resultatorientierten Bewegungswahrnehmung selektiert, wird die korrespondierende Bewegungsvorstellung den gleichen **resultatorientierten** Charakter annehmen. Gleiches gilt im Falle einer ablauforientierten Bewußtseinslenkung. Die resultatorientierte Bewegungsvorstellung enthält nur geringfügig oder keine Vorstellungsbilder vom Ablauf der Bewegung. Der routinierte Tennisspieler wird demnach exakt den Erfolg (oder Mißerfolg) verschiedener zurückliegender Schläge benennen können. Über den Ablauf der Schläge selbst wird er aber wenig zu sagen wissen. Der Turmspringer ist dagegen eher fähig, sich den Ablauf des einen oder anderen Sprunges wieder vorzustellen und aufgetretene Einzelheiten, besonders Abweichungen von der angestrebten Idealausführung, zu benennen. In gleicher Weise wird sich ein Turner müheloser alle Einzelaktionen im Ablauf eines Saltos am Boden vorstellen können, als sich ein Handballer alle Einzelaktionen im Ablauf eines Sprungwurfes vorstellen kann.

Diese generellen Differenzen zwischen resultatorientierten und ablauforientierten Vorstellungsbildern gelten auch für Elementaraktionen: Gegen Ende der Bewegungsvorstellung zum Basketball-Positionswurf wird bei Resultatorientierung das abgeklappte ("gebrochene") Handgelenk zum Bewußtseinsinhalt, während bei Ablauforientierung das abschließende Drücken des Mittelfingers gegen den Ball ins Bewußtsein gehoben wird (s. Abb. 16).

Im Hinblick auf die Trainingswirkung der Bewegungsvorstellung muß die Bedeutung des Orientierungstyps der Bewegungsvorstellung unter Berücksichtigung der Aufgaben von Lehr- und Trainingsstrategien berücksichtigt werden werden.

Der Prozeß der kategorialen Strukturierung der Bewegungswahrnehmung ist mit einer - in der Regel automatisch (=zwangsläufig) auftretenden - verbalen Codierung der multimodal-sensoriellen Wahrnehmungsinhalte verbunden (s. Kap. 3.5.2.1). In gleicher Weise kann das Auftauchen des verbalen Zeichens einer motorischen Fertigkeit im Bewußtsein zwangsläufig zum Abrufen der zugehörigen Bewegungsvorstellung aus dem Gedächtnis führen.

Die zwangsläufige wechselseitige Transformation verbaler Erinnerungsbilder in sensorielle Bilder macht es notwendig, eine begriffliche Trennung der verschiedenen, im Zusammenhang mit Bewegung auftretenden mentalen Repräsentationen unterschiedlicher Modalität und unterschiedlicher Signalisation einzuhalten: Für alle durch einen Erinnerungsprozeß im Bewußtsein auftretenden Erscheinungen wird häufig der Begriff "Bild" verwendet, z.B. Erinnerungsbild und Vorstellungsbild. So könnte man alle Bewußtseinsinhalte über Bewegungen, die unter Abwesenheit korrespondierender Sinnesmeldungen auftreten, interne Bewegungsbilder nennen. Der Ausdruck "Bild" läßt jedoch unwillkürlich an visuelle Vorstellungen denken, so daß hier dieser Ausdruck nicht generell verwendet werden soll - abgesehen von manchen Fällen, wo es sich aufgrund von Verdeutlichungen oder von Vermeidung von Wiederholungen nicht umgehen läßt. Statt dessen soll hier der Begriff des "internen Bewegungsmodells" gebraucht werden, wobei sich drei Typen interner Bewegungsmodell feststellen lassen:

- 1. **visuell-internes Bewegungsmodell** als ein Erinnerungs- bzw. Vorstellungsbild an eine visuell wahrgenommene Bewegung,
- 2. **eigenmotorisch-internes Bewegungsmodell** (multimodal-internes oder reafferentativ-internes Bewegungsmodell) als ein Erinnerungs- bzw. Vorstellungsbild von einer eigenmotorischen Bewegungswahrnehmung, also dasjenige interne Modell, das hier **Bewegungsvorstellung** genannt wird.
- 3. **verbal-internes Bewegungsmodell** (auch verbal-kognitiv-internes Bewegungsmodell) als eine interne Repräsentation auf dem 2. Signalsystem, also eine interne Repräsentation der mit visueller und eigenmotorischer Bewegungswahrnehmung verknüpfbaren sowie der im Kommunikationsprozeß übermittelten verbalen Zeichen und Superzeichen.

Neben den genannten und vorgeschlagenen Termini lassen sich in der Literatur vor allem noch die Begriffe "Bewegungsprogramm" und "Bewegungsentwurf" finden. Ersterer soll hier auf die neurophysiologischen Prozesse zur Konstituierung der Innervationsmuster für die Muskulatur vorbehalten bleiben. Letzterer wird in der Neurophysiologie, Sensomotorik und Sportpsychologie recht uneinheitlich benutzt. Hier soll der Begriff Bewegungsentwurf im Sinne der Neurophysiologie als neuronales Korrelat zur Bildung des mentalen Phänomens Bewegungsvorstellung Verwendung finden. Die Aussage "Das ZNS erstellt einen Bewegungsentwurf" ist demnach hier gleichbedeutend mit der Aussage "Der Imagiment bildet eine Bewegungsvorstellung".

Abschließend sei noch einmal festgehalten: Unter Bewegungsvorstellung wird hier dasjenige interne Bewegungsmodell verstanden, das durch eine gedächtnismäßige Repräsentation derjenigen eigenmotorischen Afferenzen verursacht wird, die während des Ablaufes einer Bewegung die Bewegungswahrnehmung konstituierten. Visuelle und verbal-kognitive Bewegungsmodelle werden hier von der Bewegungsvorstellung abgegrenzt. Gleichwohl können verbal-kognitive Bewußtseinsinhalte nach einer Transformation bzw. Decodierung auf das multimodal-sensorielle (eigenmotorische) Niveau (1. Signalsystem) in die Bildung von Bewegungsvorstellungen eingebracht werden. Gleiches gilt für visuell-interne Bilder, wie im folgenden zu besprechen ist.

2.2 Transformation visueller Bilder

Neben der Transformation verbaler Zeichen in eigenmotorisch-sensorielle Vorstellungsbilder muß auch die Möglichkeit der Transformation visueller Bilder einer Bewegung, etwa eines visuellen Wahrnehmungsbildes oder auch eines visuellen Vorstellungsbildes, zu einer Bewegungsvorstellung angesprochen werden. Für eine erfolgreiche Transformation eines visuellen Wahrnehmungsbildes in eine Bewegungsvorstellung sind drei Bedingungen vorauszusetzen: Der Perzipient muß

- im Komplex der visuellen Reizkonstellationen anhand der räumlich-zeitlichen Charakteristik die Elementaraktionen erkennen können,
- von den Elementaraktionen der visuell wahrgenommenen Bewegung eigenmotorische Informationen gespeichert haben,
- dem visuellen Bild jeder Elementaraktion das korrespondierende eigenmotorische Modell zuordnen können.

Diese Forderungen bestehen unabhängig vom visuellen Medium. Die Transformation von visuellen Wahrnehmungsbildern, die durch das direkte Beobachten eines Sportlers oder durch das Betrachten eines Films gewonnen wurden, in Bewegungsvorstellungen gelingt allerdings müheloser als das Transformieren zeichnerischer Darstellungen, die nur räumliche

Informationen liefern, so daß der Perzipient die zeitliche Komponente selbst hinzufügen muß, indem er die unbewegten Bilder in der Vorstellung in Bewegung setzt. Letzteres setzt ein höheres Informationsniveau seitens des Perzipienten/Imaginenten voraus.

In ähnlicher Weise und unter ähnlichen Bedingungen können eigenmotorische Bewegungsmodelle in visuelle Bewegungsmodelle transformiert werden. Eigene Erfahrungen und Beobachtungen an Sportlern zeigen, daß gelegentlich im Laufe der internen Realisation einer Bewegung das Vorstellungsbild von einer eigenmotorischen (multimodal-sensoriellen) in eine visuelle Charakteristik oder gar in eine interne Reproduktion der zugehörigen verbalen Zeichen umschlagen kann. Dies scheint besonders an denjenigen Stellen des Bewegungsablaufes der Fall zu sein, von denen noch unvollständige eigenmotorische Informationen vorliegen. Als eine andere mögliche Ursache ist eine massierte visuelle oder verbale Instruktion während des Lernprozesses denkbar, die sich bei der internen Realisation der Bewegung gegenüber den eigenmotorischen Informationen durchsetzt.

2.3 Neukombination der Bewegungsvorstellung

Durch die Unabhängigkeit der internen Realisation einer Bewegung (im Sinne der Produktion der Bewegungsvorstellung) von den physikalischen Bedingungen der Umwelt braucht die Bewegungsvorstellung nicht in bezug auf alle Komponenten mit der korrespondierenden Bewegungswahrnehmung übereinzustimmen. So läßt sich der interne Ablauf einer Bewegung z.B. zeitgedehnt oder unter "reduziertem Krafteinsatz" oder mit beliebiger unmittelbarer Wiederholung einzelner Phasen bei unterschiedlicher Aufmerksamkeitslenkung realisieren (s.v.). Die beschriebene Beobachtung, daß ein Sportler eine in der Vorstellung zu einer Bewegung vorhandene Lücke, die dadurch entsteht, daß seine Aufmerksamkeit im Laufe der äußeren realen Bewegung an dieser Stelle durch eine zwingende Situation besetzt ist, schließen kann, indem er eine passende, während einer anderen Bewegung gewonnene Erfahrung an der betreffenden Stelle in die Bewegungsvorstellung einsetzt, deutet schon auf eine mögliche Neukombination oder graduelle Änderung der Bewegungsvorstellung hin. Dazu müssen mehrere Möglichkeiten gesehen werden:

- In die Bewegungsvorstellung einer motorischen Fertigkeit, die bisher in der Praxis realisiert wurde, wird die Vorstellung einer oder mehrerer Elementaraktionen eingefügt. So kann beispielsweise in die Bewegungsvorstellung von einem Weitsprung in Hocktechnik die Bewegungsvorstellung eines Laufschrittes oder mehrerer Laufschritte während der Flugphase eingeschoben werden, so daß die Bewegungsvorstellung eines Weitsprunges in Lauftechnik resultiert, obwohl der Sportler diese noch nicht komplett eigenmotorisch realisieren konnte.
- In einer Bewegungsvorstellung zu einer motorischen Fertigkeit, die bisher in der Praxis realisiert wurde, wird die Vorstellung einer oder mehrerer Elementaraktionen durch die Vorstellung einer oder mehrerer anderer Elementaraktionen ersetzt: Innerhalb der Bewe-

gungsvorstellung von einem Weitsprung in Laufsprungtechnik kann beispielsweise die Vorstellung des zweiten Laufschrittes durch die Vorstellung einer Körperüberstreckung ersetzt werden, was dann die Bewegungsvorstellung eines Weitsprunges in Hangtechnik ergibt.

- Eine Bewegungsvorstellung zu einer motorischen Fertigkeit, die bisher in der Praxis realisiert wurde, wird durch die Vorstellung von Invarianten oder Invariantenkomplexe, die Teil einer anderen in der Praxis schon realisierten motorischen Fertigkeit sind, erweitert: Vor die Bewegungsvorstellung von einer Nackenkippe (aus der Nackenkipplage in den Stand) läßt sich die Vorstellung eines von der Realisation der Rolle vorwärts bekannten beibeinigen Absprunges mit Vorwärtsrollen in die Nackenkippe vorschalten.
- Die Bewegungsvorstellung zweier motorischer Fertigkeiten, die bisher getrennt in der Praxis realisiert wurden, werden zur Vorstellung einer noch nicht realisierten Fertigkeit kombiniert: Die Vorstellung vom Ablauf des Kugelstoßes und die Vorstellung der Drehbewegung zum Diskuswurf lassen sich zur Bewegungsvorstellung eines Kugelstoßes in
 Drehtechnik vereinigen.

Aus der Auflistung wird deutlich, daß die Bewegungsvorstellung zu einer motorischen Fertigkeit, deren Ablauf schon extern realisiert und deren eigenmotorisches Wahrnehmungsbild gespeichert wurde, durch Einfügen von Vorstellungsbildern all derjenigen motorischen Aktionen, Invarianten und Invariantenkomplexen geändert, ergänzt, erweitert und neu kombiniert werden kann, deren äußerer Ablauf und deren Reafferenzbild gespeichert wurde. Das Neukombinieren von Bewegungsvorstellungen setzt demnach reichhaltige - vor allem ablauforientierte - Bewegungserfahrung und die Fähigkeit der Verknüpfung dieser Erfahrungen voraus. Diese Verknüpfung kann sich unmittelbar auf multimodal-sensorieller Ebene abspielen. Ebenso können vor oder während dieses Verknüpfungsprozesses Transformationen in visuelle und verbal-kognitive Bewegungsmodelle beobachtet werden.

Eine neukombinierte Bewegungsvorstellung kann nicht in allen Phasen und bezüglich sämtlicher Komponenten räumlicher, zeitlicher und dynamischer Art den gleichen Anschaulichkeitsgrad bzw. die gleiche Abbildungsschärfe zeigen, wie eine Bewegungsvorstellung, deren äußeres Korrelat schon realisiert wurde: Angenommen die Bewegung RX besteht aus den Elementarinvarianten Rx₁ - Rx₂ - Rx₃ und die Bewegung RY aus den Elementarinvarianten Ry₁ - Ry₂ - Ry₃, so kann aus den korrespondierenden Bewegungsvorstellungen eine Bewegungsvorstellung mit der Invariantenfolge Rx₁ - Ry₂ - Rx₃ gebildet werden (Abb. 18). Da die Invariante Rx₁ nicht - wie bisher in der Praxis realisiert - in die Invariante Rx₂ übergeht, sondern in die Invariatne Ry₂, muß das Ende des Vorstellungsbildes von Rx₁ an den Beginn des Vorstellungsbildes von Ry₂ an Rx₁ angepaßt sein. Liegen für diese Anpassung keine eigenmotorischen Informationen vor, können sie nur beschafft werden, indem die mit der neukombinierten Bewegungsvorstellung korrespondierende äußere Bewegung praktisch realisiert wird. Diese hat jedoch nur dann eine Realisierungschance, wenn die durch die Neukombination bedingte "Lücke" in der

Bewegungsvorstellung nicht zu groß ist, oder wenn der korrespondierende Bewegungsablauf nicht Raum-Kraft-Komponenten voraussetzt, die der Bewegungsapparat nicht aufzubringen vermag.

Diese Erscheinungen zur Neukombination von Bewegungsvorstellungen spielen beim **motorischen Lernen** eine entscheidende Rolle und müssen deshalb in Kap. 2.6 noch einmal aufgegriffen werden.

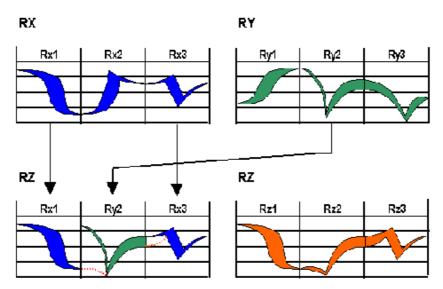


Abb. 18: Schema zur Neukombination einer rämlich-zeitlich-dynamischen Gestalt (motorischen einer Verhaltensweise RZ) aus verschiedenen Elementen bisher produzierter Verhaltensweisen (RX und RY). Die räumlichen Bedingungen des motorischen Verhaltens werden durch die Hebungen und Senkungen des Linienzuges, die zeitlichen durch das Fortschreiten in horizontaler Richtung von links nach rechts, die dynamischen durch die unterschiedliche Strichstärke des Linienzuges symbolisiert (WIEMANN 1999).

2.4 Bewegungsvorstellung als Bewegungsvorausnahme

Mentale Phänomene mit der Charakteristik von Bewegungsvorstellungen treten gehäuft kurz vor Beginn von äußeren Bewegungen auf. Will ein Sportler eine schwierige sportmotorische Fertigkeit ausführen, läßt sich feststellen, daß er vor Beginn des äußeren Ablaufes in Gedanken den Bewegungsablauf "durchspielt", indem er versucht, sich ein anschauliches, multimodal-sensorielles Bild vom gesamten Bewegungsablauf oder von seinen zielrelevanten Abschnitten zu produzieren. Das trifft besonders für solche sportmotorischen Fertigkeiten zu, deren Gelingen von einem korrekten Zusammenspiel verschiedenster Elementaraktionen abhängig ist. Der Erfolg eines Hochspringers steigt nicht nur mit der während des Absprunges eingesetzten Kraft, sondern wird auch durch die richtige räumlich-zeitliche Abstimmung der Schwungaktionen während des Absprunges und der Aktionen während der Lattenüberquerung bestimmt. Die mentale Bewegungsvorbereitung des Hochspringers gleicht demnach einer Bewegungsvorstellung mit ablauforientierter Charakteristik. Gleiches gilt für den Turmspringer, der in einer relativ kurzen Zeitspanne eine Vielzahl von Elementaraktionen

zeitlich, räumlich und dynamisch korrekt zu einer schwierigen Fertigkeit zu kombinieren hat. Liegt der Erfolg einer motorischen Fertigkeit vorwiegend in der während eines stereotypen Ablaufes produzierten Dynamik begründet, hat die mentale Vorbereitung der Fertigkeit eine untergeordnete Bedeutung, wie etwa beim Kugelstoß und Weitsprung. Werden längere Folgen von Fertigkeiten produziert, wie etwa im Gerätturnen und im Eiskunstlauf, läßt sich beobachten, daß die Vorstellungsphänomene auch während des realen Vollzuges auftreten, indem sie dem aktuellen Geschehen um eine Zeitspanne von rund 0,5 bis 1 sec vorauslaufen. Realisiert ein Turner beispielsweise die Bewegungskombination Radwende -Handstandüberschlag rückwärts - Salto rückwärts (Abb, 19), so muß - sollen die Einzelbewegungen fließend ineinander übergeleitet realisiert werden - sich sein Bewußtsein während des Ablaufes der Radwende schon auf den folgenden Überschlag und während des Ablaufes des Überschlages auf den folgenden Salto rückwärts richten. Es läßt sich zusätzlich feststellen, daß bei einem Verweilen der Aufmerksamkeit beim momentan ablaufenden Geschehen - etwa weil die erfolgreiche Realisierung der bewußten Zuwendung bedarf - der nächstfolgende Ablauf mißlingen kann. Das Vorbereiten von realen Bewegungen durch Produktion einer Bewegungsvorstellung kann offensichtlich in manchen Fällen eine Bedeutung für deren erfolgreichen Ablauf bekommen.

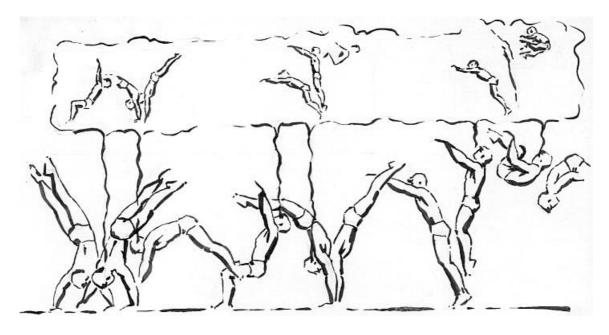


Abb. 19: Verdeutlichung des "Vorlaufes" des Bewegungsentwurfes (der Bewegungsvorstellung) vor dem aktuellen Geschehen. Der Turner realisiert die Verbindung: Radwende – Handstandüberschlag rückwärts – Salto rückwärts und beabsichtigt, einen Grätschwinkelsprung anzuschließen. Die oberen verkleinerten Figuren sollen denjenigen Bewegungsentwurf darstellen, den der Turner in diesem Moment intern vorausnimmt. Bei der Interpretation der Darstellung des Bewegungsentwurfes muß unbedingt berücksichtigt werden, daß die Inhalte des Bewegungsentwurfes (der Bewegungsvorstellung) nicht visueller, sondern multimodaler, vorwiegend somatosensorischer Natur sind, sich somatosensorische Bewußtseinsinhalte aber nicht zeichnerisch darstellen lassen.

Das Phänomen der bewußten Vorbereitung einer Bewegung durch Produktion einer Bewegungsvorstellung wird **Bewegungsvorausnahme** (auch_**Bewegungsantizipation**) genannt. Die Beziehung der Bewegungsvorausnahme zur Auslösung von realen Bewegungen wird im folgenden Kapitel (2.5) noch einmal aufgegriffen.

Nicht alle Phänomene, die unter dem Begriff "Antizipation" zusammengefaßt werden, sind mit der Bewegungsvorstellung der vorliegenden Definition gleichzusetzen. Allenfalls können interne Modelle mit resultatorientierter Charakteristik - sofern sie sich auf die physischen Bewegungsziele (Körper-Endpositionen) konzentrieren und Repräsentationen resultatorienter Bewegungswahrnehmungen darstellen - noch als Bewegungsvorstellungen gewertet werden. Liegt jedoch das Zielobjekt der Antizipation außerhalb des Sportlerkörpers, etwa die Flugbahn des durch einen Positionswurf in Bewegung gesetzten Basketballes, kann nicht mehr von einer resultatorientierten Bewegungsvorstellung, sondern es muß von der vorstellungsmäßigen Antizipation eines äußeren Zieles gesprochen werden. Während im letztgenannten Beispiel das antizipierte Ziel noch einer Verursachung durch die Motorik des Antizipierenden unterliegt, können auch Raum-Zeit-Phänomene mit Fremdverursachung antizipiert werden, z.B. die Bewegung eines vom Mitspieler geworfenen Balles, die Verhaltensweisen von Mit- und Gegenspielern u.a.m. Darüber hinaus wird der Begriff Antizipation auch für äußere motorische Erscheinungen verwendet. Verlagert z.B. ein Spieler schon während des Ballfangens sein Gewicht in diejenige Richtung, in die er anschließend den Ball zu werfen beabsichtigt, oder dreht ein Skiläufer schon während der Steuerphase eines Schwunges seinen Körper in die Richtung des folgenden Schwunges d.h. leitet er mit dem Oberkörper schon den nächsten Schwung ein, während Unterkörper, Beine und Ski den momentan ablaufenden Schwung noch vollenden müssen, wird auch von Antizipation gesprochen. Dabei ist nicht das - möglicherweise auch im Sportler auftretende - mentale Vorbereiten, sondern das äußerliche feststellbare Einleiten der folgenden Aktion gemeint.

(KOHL 1956; VOLPERT 1971; KOHL 1977; MEINEL 1977; WIEMANN 1989)

2.5 Bewegungsvorstellung und ideomotorische Phänomene

Stellt man sich intensiv eine bestimmte Bewegung vor, läßt sich oft ein Mitbewegen der Gliedmaßen des Kopfes und des Körpers beobachten, ohne daß die Absicht zu einer solchen Mitbewegung besteht. In der Regel bewegt sich derjenige Körperteil mit, der auch an der vorgestellten Bewegung hauptsächlich beteiligt ist. Manchmal bedarf es sogar einer nicht unwesentlichen Willensanstrengung, diese Mitbewegung zu unterdrücken. In der Psychologie ist diese Erscheinung unter dem Begriff der **ideomotorischen Phänomene** bekannt. Dem Sinne nach übereinstimmend werden idiomotorische Phänomene als äußere Reaktionen erklärt, die ohne bewußtes Wollen auf eine Wahrnehmung oder eine interne Repräsentation eines Verhaltensaktes hin auftreten.

Der Umstand, daß Mitbewegungen nahezu regelmäßig bei intensiven Vorstellungsakten auftreten, war Anlaß, schon früh (CARPENTER 1879) eine gesetzmäßige Beziehung zwischen Vorstellungen und äußeren Bewegungen zu vermuten, indem ein **ideomotorisches Gesetz** (CARPENTER-Effekt, ideomotorischer Effekt) formuliert wurde, *jede Vorstellung (oder auch Wahrnehmung)* einer Bewegung rufe den Antrieb oder die Tendenz zur Ausführung der vorgestellten (oder wahrgenommenen) Bewegung ohne bewußtes Wollen hervor.

Als ideomotorische Phänomene werden nicht nur äußerlich sichtbare Bewegungen, sondern auch durch Elektromyographie registrierbare Mikrokontraktionen der Muskulatur, die nicht zu

äußeren Bewegungen führen können, gewertet. Gesetzmäßige Beziehungen zwischen Bewegungsvorstellungen und den ideomotorischen Phänomenen lassen sich jedoch lediglich insofern feststellen, als an den ideomotorischen Reaktionen vornehmlich diejenigen Körperabschnitte und diejenigen Muskeln beteiligt sind, die für die äußere Realisierung der vorgestellten Bewegung besonders verantwortlich sind. Zusätzlich läßt sich feststellen, daß ideomotorische Phänomene deutlicher zu registrieren sind, wenn sich Versuchspersonen Bewegungen eigenmotorisch vorstellten, als wenn sie die gleiche Bewegung im Film beobachten (WIEMANN 1975). Da Versuchspersonen außerdem in einer Körperstellung, die der während der korrespondierenden äußeren Bewegung eingenommenen Körperpositionen weitgehend ähnlich ist, deutlichere ideomotorische Reaktionen zeigen, als beispielsweise im Sitzen, läßt sich vermuten, daß Vorstellungsprozesse ein "realeres" internes Bewegungsbild liefern, wenn die während der Vorstellung eingenommene Position der realen Situation möglichst angepaßt ist. Möglicherweise ist dies der Grund, warum Sportler unwillkürlich eine solche realitätsnahe Position suchen bzw. einnehmen, wenn sie eine Bewegung oder eine Verhaltensseguenz in der Vorstellung durchspielen wollen: der Hochspringer begibt sich in die Nähe der Sprungplatte in eine Absprungposition, der Skiabfahrtsläufer nimmt die Abfahrtsposition ein, wenn er vor dem Rennen die Strecke noch einmal in der Vorstellung durchfährt, und der Turner stellt sich mit erhobenen Armen unter die Reckstange, um eine Übungsfolge mit Griffwechseln mental zu proben. Die bei den drei Beispielen zusätzlich zu beobachtenden verhaltenen Mitbewegungen während des Vorstellungsprozesses können einerseits als - unwillkürliche ideomotorische Reaktionen, andererseits aber als beabsichtigte oder unwillkürliche Versuche des Sportlers, eine noch größere Wirklichkeitsnähe für den Vorstellungsprozeß zu garantieren, gewertet werden.

Neben ideomotorischen Reaktionen können intensive Bewegungsvorstellungen auch von vegetativen Reaktionen begleitet sein, wie Erhöhung des Blutdruckes, Beschleunigung von Atmung und Puls und Veränderung des Hautwiderstandes. Außerdem wurde eine erhöhte Empfindlichkeit des peripheren Sehens und eine gesteigerte Erregbarkeit des peripheren Nervensystems festgestellt (PUNI 1958).

Die Bildung der Bewegungsvorstellung muß der Großhirnrinde zugeschrieben werden, speziell den sekundären und tertiären somatosensorischen Feldern des Scheitellappens, speziell des supplementären motorischen Areals (SMA), wobei eine Beteiligung der Assoziationsrinde des Stirnlappens - speziell bei der Neukombination von Bewegungsvorstellungen - vermutet werden kann. Da diese Rindenbezirke den kortikalen Anstoß zur Programmierung von äußeren Bewegungen liefern, gibt die Berücksichtigung des ideomotorischen Effektes Anlaß, in der Bildung der Bewegungsvorstellung als Bewegungsvorausnahme einen auslösenden Reiz für die Programmierung des korrespondierenden motorischen Ablaufes zu sehen. Trifft dies zu, so muß weiter gefolgert werden, daß im Falle der Produktion einer Bewegungsvorstellung **ohne** nachfolgenden äußeren Ablauf zusammen mit der Bewegungsvorstellung durch einen zusätzlichen mentalen Akt ein Hemmungsmechanismus in Gang gesetzt wird, der entweder die Programmierung der Bewegung oder aber die Weiterleitung der Efferenzen in die Peripherie unterbindet. Ideomotorische Reaktionen wären dann als Folgen einer unvollständigen Wirkung des Hemmungsmechanismus zu verstehen.

(JACOBSON 1932; RICHTER 1954 und 1957; PUNI 1958; ALLERS/SCHEMINZKY 1966; WIEMANN 1975, 1999)

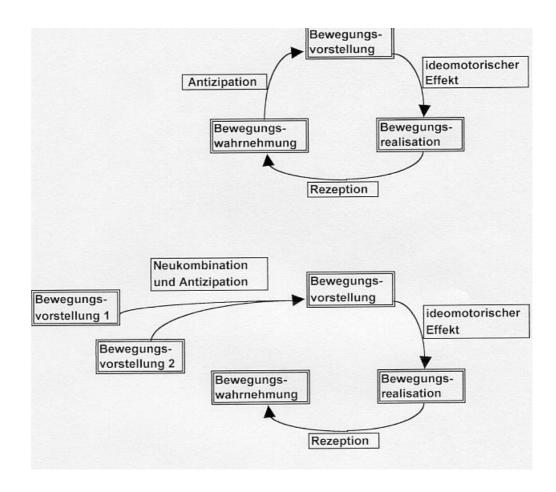


Abb. 20: Modell des Zusammenhanges von Antizipation, ideomotorischem Effekt und Realisation. *oben*: "gekonnte" Bewegung. *unten*: neu zu erwerbende Bewegung

2.6 Motorisches Lernen als Neukombination von Bewegungsvorstellungen

Die Mechanismen von

- Antizipation,
- ideomotorischem Gesetz und
- Neukombination der Bewegungsvorstellung

reichen aus, das Phänomen des motorischen Lernens zu beschreiben:

- Wenn sich vor der äußeren Realisierung einer motorischen Fertigkeit die sensorischen Konsequenzen der Fertigkeit (= Bewegungswahrnehmung) im Bewußtsein als Bewegungsvorstellung vorweg bilden lassen (= Antizipation),
- wenn außerdem die Bildung der Bewegungsvorstellung gesetzmäßig nach äußerer Realisation der zugehörigen Bewegung drängt (= ideomotorisches Gesetz), die Bildung der Bewegungsvorstellung gleichsam den Auslöser zur Programmierung und Realisierung der korrespondierenden Bewegung darstellt,

- dann sollte es möglich sein, durch die Bildung einer möglichst kompletten Bewegungsvorstellung einer neu zu erlernenden Fertigkeit (= Neukombination der Bewegungsvorstellung) und deren Antizipation den zugehörigen äußeren Ablauf realisieren zu lassen.

Somit kann das *Lehren motorischer Fertigkeiten* als ein Bilden *neuer Bewegungsvorstellungen* im Schüler gewertet werden (Abb. 20). Soll dieser Wirkungszusammenhang gelingen, sind mehrere Bedingungen zu berücksichtigen:

- Die neu zu kombinierende Bewegungsvorstellung muß sich aus Segmenten der eigenmotorischen Vorstellungen schon beherrschter Fertigkeiten und/oder aus Vorstellungen zu motorischen Grundmustern (Elementaraktionen, motorischen Invarianten) zusammenstellen lassen (Abb. 18 und 20).
- 2. Die "Nahtstellen" in der Neukombination der Vorstellungssegmente müssen einen möglichst reibungslosen Übergang ineinander garantieren (Abb. 19).
- 3. Die neu zu kombinierende Bewegung muß die biomechanische Situation angemessen berücksichtigen, d.h., der Lernende muß die physischen Möglichkeiten zur Realisation der Bewegung besitzen.

Als Beispiele können die in Kap. 2.2 aufgeführten Neukombinationen dienen. Das zugeordnete Vorgehen in der Lehrplanung setzt als Routinestrategie gemäß den oben genannten Bedingungen voraus (Abb. 20), daß der *Lehrplanende* (Lehrer, Trainer)

- die Bewegungsvorstellung von der zu erlernenden Fertigkeit nach motorischen Elementarinvarianten (Elementaraktionen) analysiert, indem er sie sich in das Gedächtnis ruft, d.h., eigenmotorisch-intern realisiert (was voraussetzt, daß er über Informatioen eigenmotorischer Art vom perfekten Ablauf der zu lehrenden Fertigkeit verfügt und sich diese als eigenmotorische Vorstellung ins bewußtsein rufen kann);
- unter Berücksichtigung des Fertigkeitsniveaus des Lernenden diejenigen Elementaraktionen identifiziert, die im Lernprozeß einer besonderen Aufmerksamkeitszuwendung seitens des Lernenden bedürfen, d.h., diejenigen Elementaraktionen herausfiltert, die zum Zwecke der Neukombination in ihrer Raum-Zeit-Charakteristik anzupassen sind,
- die Lehranweisungen (visuellen und/oder verbalen Instruktionen) derart gestaltet, daß es dem Schüler gelingt, die geforderte Bewegungsvorstellung zu entwerfen,,
- in der Dimensionierung der Lernschritte die Aufnahmekapazität des Lernenden berücksichtigt,
- in der Auswahl der methodischen Prinzipien und der Lernhilfen das biomechanische Umfeld der Fertigkeit und die physischen Möglichkeiten des Lernende respektiert, damit sich im motorischen Gedächtnis des Schülers keine Vorstellungsinhalte "einnisten", die nicht Teil des eigenmotorischen Vorstellungsbildes der zu erlernenden Fertigkeit sind.

Diese lehrmethodische Vorgehen baut auf der *eigenmotorischen Kompetenz* des Lehrplaners (d.h. der Verfügbarkeit der eigenmotorischen Vorstellung zu der zu erlernenden Fertigkeiten im Lehrer) auf (Abb. 20).

3 Literaturliste

- ADAMS, J.A.: A closed-loop theory of motor learning. In: Journal of Motor Behavior, 1971, 3. S. 111-150
- ALLERS; R. u. SCHEMINZKY, F.: Über Aktionsströme der Muskeln bei motorischen Vorstellungen und verwandten Vorgängen. In: Pflügers Archiv für die ges. Physiol. 212 (1966) S. 168-182
- ANOCHIN, P.K.: Das funktionelle System als Grundlage der physiologischen Architektur des Verhaltensaktes. Jena 1967
- AUERSPERG, A. Körperbild und Köperschema. In: Der Nervenarzt 31 (1960) 19-24
- BAUMANN, S.: Das Körperschema. In: Sportwissenschaft 4 (1974) 3. S. 299-313
- BAUMGARTNER; G.: Physiologie des zentralen Sehsystems. In: GAUER, O.H., KRAMER, K., JUNG, R. (Hrsg.)- Physiologie des Menschen. Bd. 13 München 1978. S. 263-256.?
- BERGIUS, R.: Vom Zeitsinn zum Verhaltensparameter Zeit. In: IRLE, M. (Hrsg.): Bericht über den 26. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie Tübingen 1968. Göttingen 1969. S. 1-21
- BISCHOF, N.: Psychophysik der Raumwahrnehrnung. In: METZGER, W. (Hrsg.): Wahrnehmung und Bewußtsein. Allgemeine Psychologie. Bd. 1. 1. Halbband. Göttingen 1966. S. 307-408
- CARPENTER, W.B.: Principles of mental physiology. London 1875
- CHRISTIAN, P.: Vom Wertbewußtsein im Tun. In: WEIZSÄCKFR, V. Hrsg.: Beiträge aus der allgemeinen Medizin. 4. Heft 1948. S. 1-20
- CRATTY, B.J.: Motorisches Lernen und Bewegungsverhalten. Frankfurt 1975
- CRUSE, H.: Modellvorstellungen zu Bewußtseinsvorgängen. In: Naturwissenschaftl. Rundschau 32 (1979) 2, S. 45-54
- DELHEES; K.H.: Motivation und Emotion: In: STAMM, R.A. und ZEIER, H. (Hrsg.): Lorenz und die Folgen. Zürich 1978. S. 856-888.
- DERWORT, A.: Zur Psychophysik der handwerklichen Bewegungen (insbesondere des Hammerschlages) bei Gesunden und Hirngeschädigten. In: WEIZSÄCKER, V. von: Beiträge aus der allgemeinen Medizin. 4. Heft, 1948. S. 21-77
- DIECKERT / KOCH: Methodische Übungsreihen im Gerätturnen. Schorndorf 1970.
- DROWATZKY, J.N.: Pereeption. In: DROWATZKY, J.N. (Hrsg.): Motor learning. Principles and Practice. Minneapolis 1975. S. 171-190
- ECCLES, J.C. (a): Bewußte Wahrnehmung. In: POPPER, K.R. und ECCLES, J.C.: Das Ich und sein Gehirn. München 1982², S. 309-337
- ECCLES; J.C. (b): Bewußtsein der Tiere und Ich Bewußtsein des Menschen. In- Naturwissenschaftliche Rundschau. 35. Jg. 1982. Heft 10, S. 393-399
- ECCLES, J.C.: Das Zeitgefühl. In: Naturwissenschaftliche Rundschau. 36 Jahrg. Heft 10. 1983. S. 427-432
- FARFEL, W.S.: Bewegungssteuerung im Sport. Berlin 1977
- FELDES, D.: Reafferenzprinzip und sportliche Bewegungslehre. In: Theorie und Praxis der
- Körperkultur 15 (1966) ", S. 10 1 8- 1 028

- FRAISSE, P.. Zeitwahrnehmung und Zeitschätzung. In: METZGER, W.: (Hrsg.): Wahrnehmung und Bewußtsein, Allgemeine Psychologie. Bd. 1. 1. Halbband. Göttingen, 1966. S. 656-690
- FRIEDRICH, G.: Probleme der Kommunikation im Schulunterricht mit blinden Schülern. In: Motorik, Schorndorf 6 (1983) Heft 2, S. 62-66
- GAJDOS, A.: Lehrbuch des Kunstturnens. Schorndorf 1983
- GREENWALD; A.G.: Sensory feedback mechanismus in performance control: with special reference to the ideomotor mechanism. In: Psychological review. Vol. 77 No. 2. 1970, S. 73-99
- HASSELBACH, SAUER, u.a.: Muskel. In: GAUER, H.O. u.a. (Hrsg.): Physiologie des Menschen, Bd. 4, München 1976
- HASSENSTEIN, B.: Biologische Kybernetik. Heidelberg 1973
- HEDIGER; U.: Zur Frage des Selbstbewußtseins beim Tier. In: STAMM, R.A. und ZEIER; U. (Hrsg.):Lorenz und die Folgen. Zürich 1978
- HEIN, A. und HELD, R.: A neural model for labile sensorimotor coordinations. In. BERNARD, E. E. und KARE, M. R. (Hrsg.): Biological Prototyps and Synthetic Systems 1. New York 1962. S. 71-74
- HENATSCH, H.-D.: Bauplan der peripheren und zentralen sensomotorischen Kontrollen.In: GAUER, 0.H. u.a. (Hrsg.) Physiologie des Menschen. Bd. 14. Sensomotorik. München 1976.
- HEUER, H.: Bewegungslernen. Stuttgart 1983
- HILDENBRANDT; E.. Sprache und Bewegung. Zur Verbalisierung von Bewegungsphänomenen. In: Sportwissenschaft 3 (1973) 1. S. 55-69
- HILDENBRANDT; E.: Bewegung und Sprache. In: HAHN; E.; PREISING, W. (Hrsg.): Die menschliche Bewegung. Bericht des wissenschaftlichen Kongresses der 6. Gymnastrada Berlin vom 29. Juni bis 1. Juli 1975. Schorndorf 1976.
- HOLST, E. von; MITTELSTAEDT, U.: Das Reafferenzprinzip. Naturwiss., 37,1950, S. 464-476
- HOLST, E. von: Zur Verhaltensbiologie bei Tieren und Menschen, München 1969
- HORN, E.: Multimodale Konvergenz ein Verarbeitungsprinzip bei Sinnesleistungen. In: Naturwiss. Rdsch. 33 (1980) 8. S. 309-324.
- HOTZ, A. u. WEINECK, J.: Optimales Bewegungslernen. Erlangen 1983
- JACOBSON, E.: Elektrophysiology of mental activities. In: American Journal of Psychology. 44. 1932. S. 677-694
- JUNG, R.: Einführung in die Sinnesphysiologie In: GAUER, 0.H., KRAMER; K.; JUNG, R. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Bd. 1 1. München 1972. S. 1-48
- KAMINSKI, G. Bewegung von außen und von innen gesehen. In: Sportwissenschaft 2 (1972) 1, S. 51-63
- KAMINSKI, G.: Bewegungshandlungen als Bewältigung von Mehrfachaufgaben. In: Sportwissenschaft 3 (1973) 3. S. 233-250
- KEIDEL; W.D.: Optische und akustische Zeichenerkennung beim Menschen. In: Naturwiss. Rdsch. 23. Jg. 1970, Heft 2. S. 491-498
- KEIDEL, W.D.: Sinnesphysiologie. Teil 1. Allgemeine Sinnesphysiologie Visuelles System. Berlin 1976'
- KNIRSCH, K.:Lehrbuch des Kunstturnens, Stuttgart 1970
- KOHL, K.: Zum Problem der Sensumotorik. Frankfurt 1956.
- KOHL; K.: Gestalttheorie bei der Behandlung des motorischen Lernens im Gebiet des Sports. In: GUSS "sg.): Gestalttheorie und Fachdidaktik. Darmstadt 1977. 64-83
- KOHLER; 1: Zusammenarbeit der Sinne und das allgemeine Adaptationsproblem. In: METZGER, W, (Hrsg.): Wahrnehmung und Bewußtsein. Allgemeine Psychologie. Bd. 1, 1. Halbband. Göttingen 1966. s. 616-655

- KORNHUBER, H.H.: Zur Bedeutung multisensorischer Integration im Nervensystem. In: Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde 187 (1965), S. 478-484
- KORNHUBER, H.H.: Geist und Freiheit als biolgische Probleme. In: STAMM; R.A. und ZEIER, H. (Hrsg.):,Lorenz und die Folgen. Zürich 197 8. (b), S. 1 1 22-113 0.
- LANGE; H.. Kinästhetische Forschungsergebnisse und deren sportwissenschaftliche Relevanz. In: ANDRELS; H. und REDL; S. (Hrsg.): Forschen Lehren Handeln. Sportwissenschaftliche Beiträge. Wien 1976. S. 203-217
- LEIRICH, J.: Bewegungsvorstellung und motorischer Lernprozeß. In: Körpererziehung 1973, 1, 13-26
- LEIST, K.-H..- Motorisches Lernen im Sport. In: THOMAS, A. (Hrsg.): Sportpsychologie. München 1982
- LIBET; B.: Electrical stimulation of cortex in human subjects, and consciions memory aspects. In: IGGO, A. (Hrsq.): Handbook of sensory physiologie. Bd. 11. Berlin/Heidelberg/New York 1973. S. 743-790
- McCLOSK.EY, D.T.: Kinaethetic sensibility. In: The American physiological Society. Vol. 58 No.4. 1978. S. 763-820
- McCLOSKEY, D.J.: Corollary discharges: motor commands and perception. In: BROOKS, V.B. (Hrsg.): Handbook of Physiology. Section 1: The nervous system. Vol. 11/2., American Physiological Society. Bethesda 1981 S. 1415-1447
- MEINEL; Kurt: Bewegungslehre Berlin 1977
- METZGER; W.: Wahrnehmung und Bewußtsein. Allgemeine Psychologie. Bd. 1. 1. Halbband. Göttingen 1966
- MEUSEL, H.: Sportliche Grundausbildung. Frankfurt 1966
- MURCH, G.M.; WOODWORTH, G.L.: Wahrnehmung. Stuttgart 1978
- NEUMEIER, A.: Untersuchungen zur Funktion des Blickverhaltens bei visuellen Wahrnehmungsprozessen im Sport. In: Sportwissenschaft 12 (1982), 78-91
- NICKEL; U.: Bewegungsbewußtsein im Sport. In: Sportwissenschaft 12 (1982), 65-77
- NICKEL; U.: Zeitbewußtsein als Reflexivität. Hannover 1976
- NICKEL; U.: Bewegungsbewußtsein. Grundlagen und Perspektiven bewußteren Bewegens im Sport. Bad Homburg 1984
- PICKENHAIN, L.: Grundriß der Physiologie der höheren Nerventätigkeit. Berlin 1959
- PICKENHAIN, L.. Neurophysiologische Grundlagen innerer Modelle motorischer Handlungen. In: RACKER, W. und RAUM, H. (Hrsg.). Optimierung von kognitiven Arbeitsanforderungen. Bern 1980.
- PLÜGGE, H.. Grazie und Anmut. In. BUYTENDIJK/CHRISTIAN/PLÜGGE: Über die menschliche Bewegung als Einheit von Natur und Geist. Schorndorf 1963. S. 45-77
- POECK, K. und ORGASS, B.: Über die Entwicklung des Körperschernas, In: Fortschritte der Neurologie, Psychiatrie und ihrer Grenzgebiete. 32 (1964) 1 0, S. 53 8-5 5 5
- POPPER, K.R. u. ECCLES, J.C.: Das Ich und sein Gehirn. München 1982
- PUNI, A.Z.: Über die Trainingswirkung der Bewegungsvorstellung. Theorie und Praxis der Körperkultur. 7. Jg. 1958, Heft 12. S. 1067-1075
- RENSCH, B.: Stammesgeschichte des Geistigen. In: BÖHME, W. (Hrsg.): Herrenalber Texte. Bd. 23 Wie entsteht der Geist? Karlsruhe 1980. S. 41-47
- RICHTER, H.: Über ideomotorische Phänomene. Zeitschrift für Psychologie. Bd. 157. Heft 3-4. 1954. S. 202-257
- RICHTER, U.: Zum Problem der ideomotorischen Phänomene. Zeitschrift für Psychologie. Band 161 Heft 3-4.1957. S. 161-254
- RÖTHIG, P. (Hrsg.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Schorndorf 1983' RÜSSEL, A.- Psychomotorik.

 Darmstadt 1976

- SACKS, 0.: Der Tag, an dem mein Bein fortging. Reinbeck 1989
- SCHALTENBRAND, G.: Bewußtsein und Zeit. In: Studium Generale 22 (1968),455-472.
- SCHMIDT, R.A.: A schema theory of diskrete motor skill learning. In: Psychological Review.
- 1975, 82. S. 225-260.
- SCHMIDT, R.F. und THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Berlin 1977
- SCHÖNE, H.: Wie unterscheidet der Mensch oben und unten? In: Naturwiss. Rdsch. 33 (1980) 10. S. 429-428.
- SCHULZ, H..- Schlaf, Aufmerksamkeit und Bewußtsein. In: STAMM, R.A. und ZEIER, H.: Lorenz und die Folgen. Zürich 1978. S. 799-843
- SINZ, R.: Neurophysiologische und biochemische Grundlagen des Gedächtnisses. In: K.LIX, F. und SYDOW, H. (Hrsg.): Zur Psychologie des Gedächtnisses. Berlin 1977. S. 207-243.
- TEIPEL, D.: Bewegungslernen und visuelle Kontrolle. Sporthochschule Köln. Köln 1979.
- THOLEY, P.: Erkenntnistheoretische und systemtheoretische Grundlagen der Sensumotorik aus gestalttheoretischer Sicht. In: Sportwissenschaft (1980).7-35.
- VOLLMER, G.: Evolutionäre Erkenntnistheorie und Leib-Seele-Problem. In. BÖHME, W. (Hrsg.): Herrenalber Texte. Bd. 23. Wie entsteht der Geist? Karlsruhe 1980, S. 1 1 14.
- VOLPERT, W.: Sensumotorisches Lernen. Frankfurt, 1971.
- WIEGERSMA, P.H.: Psychomotorik, Körperschema und Köpererleben. In: EGGERT, D. und KIPHARD, E.J. (Hrsg.): Die Bedeutung der Motorik für die Entwicklung normaler und behinderter Kinder. Schorndorf 1973
- WIEMANN, K.: Internes Training, ideomotorische Phänomene und neuromuskuläre Koordination. Universität Frankfurt/Main. 1975.
- WIEMANN, K.: Physikalisches Wissen, neurophysiologische Einsichten und eigenmotorische Kompetenz -Voraussetzungen sportmethodischen Planens. In: CZWALINA (Hrsg.): Methodisches Handeln im Sport. Schomdorf 1988. S. 88- 1 16
- WIEMANN, K.: Zum Phänomen der Bewegungsvorstellung aus hirnbiologischer Sicht. In: Daugs/Leist/Ulmer (Hrsg.): Motorikforschung aktuell. Clausthal-Zellerfeld 1989. S. 196-203
- WIEMANN, K.: Modelle zu Auslöse- und Hemmungsmechanismen motorischen Verhaltens bei Tier und Mensch. http://www.uni-wuppertal.de/FB3/sport/bewegungslehre/wiemann/ausl.htm
- WOHL, A.: Bewegung und Sprache. Schorndorf 1977
- WURTZ, R.H., GOLDGERG, M.E. und ROBINSON, D.C.: Optischer Reiz und visuelle Aufmerksamkeit. In: Spektrum der Wissenschaft, 8. 1982, S. 92-101