

Abschlußarbeit
zur Erlangung des
Magister Artium
im Fachbereich 21 der
Johann Wolfgang Goethe-Universität/Ffm
Institut für Sportwissenschaften

Thema:
Koordination -
Aktueller Wissensstand, Begrifflichkeit,
Diagnose- und Ansteuerungsmöglichkeiten



1.Gutachter: Prof. Dr. D. Schmidtbleicher
2.Gutachter: Dr. U. Frick

vorgelegt von:

Jens C. Mugrauer
Frankfurt/M.
wohnhaft:
Obernhainer Weg 59
61273 Wehrheim/Ts.
0 60 81 / 98 01 95

Einreichungsdatum: 28.01.1997

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Verschiedene Theorien.....	4
2.1 Geschichtliches.....	4
2.2 Koordination nach K. Meinel.....	4
2.3 Koordination nach G. Schnabel.....	6
2.4 Koordination nach P. Hirtz.....	16
2.5 Koordination nach K. Roth.....	21
2.5.1 Leistungsvoraussetzungen.....	21
2.5.2 Induktive Ansätze.....	23
2.5.3 Deduktive Ansätze.....	23
2.5.4 Hierarchisches Modell.....	35
3. Neuere Erkenntnisse.....	39
3.1 Zur Ontogenese.....	39
3.1.1 Entwicklung koordinativer Fähigkeiten.....	39
3.1.2 Einfluß psychischer Komponenten.....	42
3.1.3 Einfluß kognitiver Komponenten.....	45
3.1.4. Koordinative Fähigkeiten im Seniorenalter.....	47
3.2 Prozessorientierte Ansätze.....	49
3.2.1 Neurophysiologie.....	49
3.2.2 Dynamische Systemtheorien.....	54
3.2.2.1 Grundlagen.....	54
3.2.2.2 Anwendung.....	60
3.3 Motorisches Lernen.....	64
4. Schlußbetrachtung.....	67
Literaturverzeichnis.....	70
Abbildungsverzeichnis.....	76
Tabellenverzeichnis.....	77
Anhang.....	78

1. Einleitung

"Alles fließt" heißt es schon bei Heraklit (ca. 540-480 v.Chr.), und er erfasste damit die dauernde Veränderung als grundlegendsten Charakterzug der Natur.

In diesem Sinne kann man auch die Bewegung als einen fundamentalen Bestandteil des uns bekannten Daseins auffassen. Die menschliche Motorik hat damit eine tiefgreifende Bedeutung für das Leben des Menschen und als Ausdruck des Menschseins.

Die Sportwissenschaft stellt Begriffe und Modelle zur Verfügung, um u.a. die Aspekte der (Sport-)Motorik darzustellen, zu ordnen und der Praxis zugänglich zu machen.

So ist heute in der Trainingswissenschaft die Unterteilung der sportmotorischen Fähigkeiten in spezielle (Fertigkeiten) und allgemeine Fähigkeiten akzeptiert. Des Weiteren werden konditionelle (Funktionsprozesse) und koordinative Fähigkeiten (Steuerungsprozesse) unterschieden. Im Bereich der Kondition liegen bezüglich terminologischer Einheitlichkeit, wissenschaftlicher Begründung bzw. Systematisierung des Übungsstoffes und einzusetzender Tests zufriedenstellende Ergebnisse vor.
(ROTH 1983/S.56ff)

Auf die Koordination trifft dies nicht zu. In der Literatur findet man unterschiedliche Termini, Definitionen und Unterteilungen der offenbar komplexen Struktur dieser Leistungsvoraussetzung. In einer Untersuchung fand HIRTZ (ebd. 1976/S.284) beispielsweise in 150 deutschsprachigen Veröffentlichungen 80 Begriffe zur Beschreibung koordinativer Leistungen. Darüber hinaus haben die bislang gängigen Theorien die beobachteten Phänomene nur bedingt zu erklären vermocht. Ferner kommt noch eine große Anzahl interessanter, neuerer Forschungsergebnisse hinzu.

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick über die wesentlichen Theorien bzgl. der Koordination schaffen, sowie deren Anwendungsmöglichkeiten abschätzen und, soweit möglich, wichtige Folgerungen für die Praxis darstellen.

Das Kapitel "Verschiedene Theorien" gibt -durch die chronologische Abhandlung diverser Autoren- neben der Beschreibung bestehender Theorien auch eine Übersicht über die Entwicklung der Bewegungsforschung im deutschsprachigen Raum. Im Kapitel "Neuere Erkenntnisse" wird der daraus gewonnene Ansatz zur Darstellung der motorischen Ontogenese herangezogen. In den darauffolgenden Ausführungen sind die Beschreibungsmöglichkeiten durch den vielversprechenden systemdynamischen Ansatz Kernpunkt des Interesses.

2. Verschiedene Theorien

2.1 Geschichtliches

MEINEL sieht eine entscheidende Wende der wissenschaftlichen Bewegungsforschung in der Anwendung der dialektischen Methode.

Während in der älteren Bewegungsforschung lediglich die Erkenntnisse aus der Mechanik, der Anatomie, der Physiologie und der Psychologie nebeneinander existierten, betrachtete PAWLOW bei der Erforschung der höheren Nerventätigkeit den Gesamtorganismus im Verhalten zu seiner Umwelt. Die von PAWLOW seit der Jahrhundertwende betriebene Forschung im Bereich der Physiologie schuf damit die Voraussetzungen zum besseren Verständnis der menschlichen Motorik. Auch bei der sportlichen Betätigung handelt es sich nach MEINEL um das Gesamtverhalten des Menschen zu seiner Umwelt, wobei sich allmählich die "Bewegungskoordination" bildet. (MEINEL 1962/S.82ff)

Betrachtet man die älteren Theorien zur Bildung von Bewegungsfertigkeiten, so wird evident, daß die Kenntnisse über die Vorgänge im zentralen Nervensystem beachtliche Fortschritte bezüglich der Ansichten über die Koordination mit sich brachten.

So herrschte lange Zeit die Auffassung, daß es sich bei der Koordination von Bewegungen um Prozesse handelt, die im peripheren, ausführenden Bewegungsapparat, größtenteils in der Muskulatur ablaufen. Das zentrale Nervensystem hatte dabei lediglich die Aufgabe, Reize in die Muskulatur zu schicken und Erinnerungsbilder zu speichern. (MEINEL 1962/S.85)

Später erkannte man die zentrale Bedingtheit der Bewegungskoordination und deren Funktionsweise unter anderem durch PAWLOWs Theorie der bedingten Reflexe und der Lehre vom ersten und zweiten Signalsystem. (MEINEL 1962/S.86/87)

2.2 Koordination nach K. Meinel

MEINEL definiert (1962/Zitat S.237): „Die Bewegungskoordination ist eine gesetzliche Ordnung des Bewegungsgeschehens, die sich in der aktiven Auseinandersetzung mit der Umwelt durch Übung und Schulung herausbildet. Sie ist die *sichtbare Folge* (Pawlow) eines wohlabgestimmten Systems von Erregungs- und Hemmungsprozessen im Nervensystem, eines dynamisch-motorischen Stereotyps, der eine auf den Zweck abgestimmte Tätigkeit des gesamten Bewegungsapparates gewährleistet“.

Als wahrnehmbare Merkmale werden das Zusammenspiel und die Abgestimmtheit der einzelnen Bewegungen zu einem sinnvollen Ganzen genannt. Genauer versteht man darunter die Ausprägung

- der Struktur,
- der Bewegungsübertragung,
- der Bewegungsvorausnahme,
- der Genauigkeit,
- des Flusses,
- der Elastizität,
- des Bewegungsrhythmus'. (1962/S.237)

Bei der kategorialen Erfassung der qualitativen Bewegungsmerkmale wird darüber hinaus noch die Bewegungsharmonie genannt.

Zusätzlich formuliert MEINEL noch die beiden "Prinzipien der sportlichen Motorik":

- Prinzip der Zweckmäßigkeit,
- Prinzip der Ökonomie. (1962/S.235f)

Darauf aufbauend definiert er als Fähigkeit folgendes (1962/Zitat S.237): „Subjektiv können wir sie (die Koordination, Anm. d. V.) als die Fähigkeit bezeichnen, motorische Akte gut organisiert auszuführen, so daß die Bewegungsabsicht in zweckmäßiger, ökonomischer und sicherer Art und Weise verwirklicht wird“.

Auf die **neurophysiologischen Zusammenhänge** geht MEINEL nur insofern ein, daß die Bewegungskoordination auf einer Koordination aller Vorgänge im Organismus, beispielsweise der Muskelkoordination oder der nervlichen Koordination, beruht.

Diese Vorgänge werden in gesetzmäßiger Folge ausgelöst, um eine bestimmte Absicht auszuführen. (1962/S.237)

Zum **motorischen Lernen** werden u.a. folgende Aussagen getroffen:

„Genetisch bildet sich die Bewegungskoordination in der tätigen Auseinandersetzung mit der Umwelt heraus“. (1962/Zitat S.237)

Grundlagen für das Erlernen neuer Bewegungen sind einerseits die Funktionsreife des Organismus und andererseits die bereits vorhandene Bewegungserfahrung, die im "Bewegungsgedächtnis" gespeichert ist. Diese Faktoren stehen in einem wechselseitigen Verhältnis zueinander und erleichtern und beschleunigen bei zunehmender Ausprägung den Erwerb neuer Bewegungen. (1962/S.339/340)

Die Automatisierung erfolgt durch die Festigung des bedingten Reflexes und schließlich durch die Bildung eines dynamischen Stereotyps, der auf Grund von wiederholter Bewegungsausführung entsteht. Aufbau und Ver-

teilung der Erregungs- und Hemmungszustände in der Großhirnrinde werden immer mehr fixiert und laufen immer leichter und automatischer ab. Die benötigte nervale Arbeit wird geringer. (1962/S.383 nach PAWLOW 1954)

MEINEL sieht damit die von u.a. BERNSTEIN vertretene Auffassung widerlegt, daß die Automatisierung ein Umschalten von höheren kortikalen Bereichen auf subkortikale Schichten des Zentralnervensystems bedeutet. (1962/S.384)

Ferner wird noch darauf hingewiesen, daß die Automatisierung nicht als eine Loslösung der Bewegung vom Bewußtsein des Menschen angesehen werden kann. Es besteht jederzeit die Möglichkeit, die Bewegung bewußt zu vollziehen. (1962/S.382)

„...Es braucht z.B. im Milieu nur ein neuer, die Bewegung störender Reiz aufzutreten; sofort wird das Bewußtsein zur Korrektur der gestörten Bewegung aktiv“. (1962/S.382 zitiert nach KRESTOWNIKOW 1953)

Darüber hinaus sieht man an Spitzensportlern, die sich nach der Bewegungsausführung trotz weitestgehender Automatisierung mit großer Genauigkeit an Details erinnern können, daß das Bewegungsgedächtnis weiterhin aktiv ist. (1962/S.382)

Schließlich unterteilt MEINEL die Bewegungskoordination nach dem Grad der Beteiligung von Körperpartien an der Bewegung in **Gewandtheit und Geschicklichkeit**. Gewandtheit bezieht sich demnach auf die Gesamtmotorik, Geschicklichkeit betrifft Bewegungen feinmotorischer Art, wobei weiter zwischen Finger/Hand-, Fuß- und Kopfgeschicklichkeit unterschieden wird. (1962/S.238)

2.3 Koordination nach G. Schnabel

SCHNABEL definiert wie folgt (1977/Zitat S.61): „Bewegungskoordination ist die Ordnung, ist die Organisation motorischer Aktionen in Ausrichtung auf ein bestimmtes Ziel beziehungsweise einen Zweck“.

Ordnung ist hier im Sinne einer Abstimmung aller Bewegungsparameter im aktuellen Prozess der Wechselwirkung des Sportlers mit der Umwelt zu verstehen. (1977/S.62)

Weiter wird konkretisiert, daß sich die Abstimmung der Bewegungsparameter hinsichtlich einer zweckmäßigen Lösung der gestellten Aufgabe auf alle inneren und äußeren Kräfte unter Berücksichtigung der Freiheitsgrade des Bewegungsapparates bezieht. (1977/S.63)

SCHNABEL macht folgende Annahmen:

- „Der Organismus *ist ein im höchsten Grade sich selbst regulierendes System, das sich selbst erhält, wiederherstellt, korrigiert und sogar vervollkommnet*“. (1977/Zitat S.65 zit. nach PAWLOW 1953 kursiv)
- „Dabei ist die motorische Tätigkeit die wesentliche Form einer Wechselwirkung mit der Umwelt und darüber hinaus einer aktiven Einwirkung auf die Umwelt, um diese mit wesentlichen Ergebnissen für das Lebewesen zu verändern“. (1977/S.65 vgl. BERNSTEIN '75)

Daraus wird abgeleitet, daß sich die motorische Koordination als Steuerung des motorischen Verhaltens im Sinne einer Systemregelung vollzieht und daher als **kybernetisches Modell** dargestellt werden kann (Abb.1). (1977/S.65)

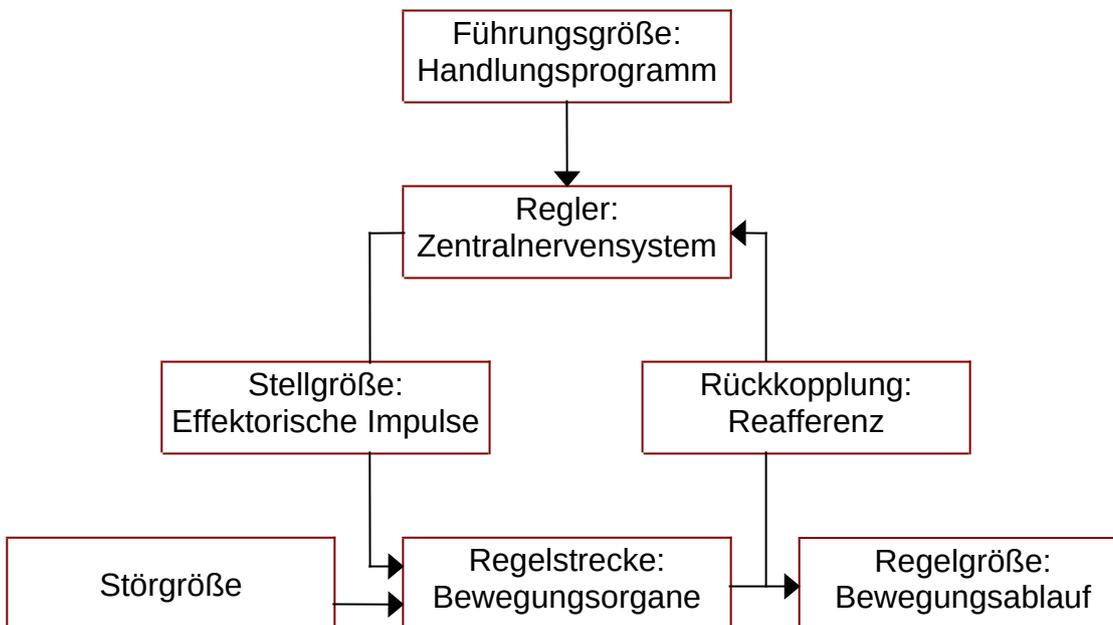


Abb.1: Der motorische Akt als Regelkreis.

Dieses Grundmodell bedarf einer weiteren Differenzierung, um dem vorhandenen Wissensstand gerecht zu werden.

In Abbildung 2 sieht man ein komplexeres Modell, das natürlich gegenüber den tatsächlich ablaufenden Prozessen ebenfalls einer vereinfachten Darstellung entspricht.

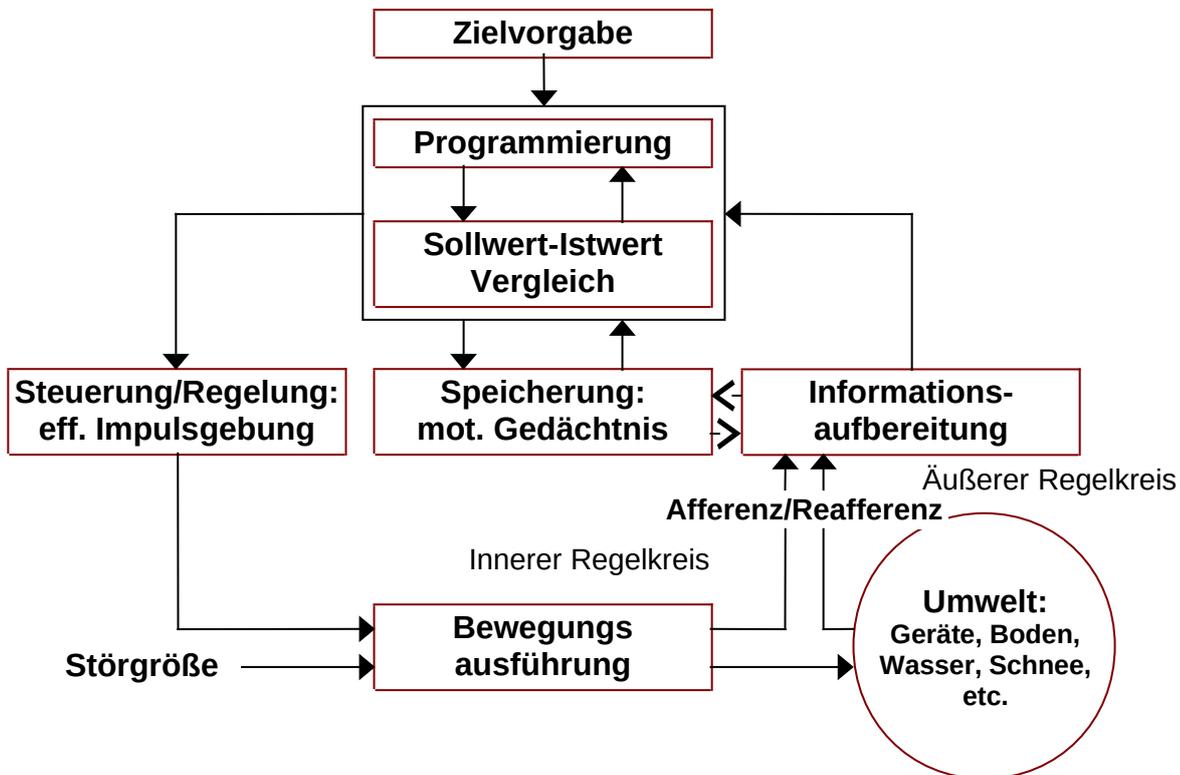


Abb.2: Vereinfachtes Modell der Bewegungskoordination.
(Informationsaufbereitung = Afferenzsynthese)

Das Modell beinhaltet folgende Teilfunktionen, die zur Lösung einer Koordinationsaufgabe realisiert werden müssen:

- a. Die Bewegungsausführung durch die Bewegungsorgane. Hierbei ist die Skelettmuskulatur als aktiver Teil des Bewegungsapparates als zu steuerndes und zu regelndes Organ, im Modell Abb.1 "Regelstrecke" genannt, anzusehen.
- b. Die afferente und refferente Informationsaufnahme und -verarbeitung. Insbesondere werden durch die Afferenzsynthese Informationen über die Zwischen- und Endergebnisse der Bewegung gewonnen.
- c. Die Programmierung des Bewegungsablaufes. Dies beinhaltet auch die Vorhersage von Zwischen- und Endergebnissen.
- d. Der Sollwert-Istwert-Vergleich. Dabei werden die eingehenden Informationen (Istwerte) mit dem vorgegebenen Ziel und dem Handlungsprogramm (Sollwerte) verglichen.
- e. Die eigentliche Steuerung und Regelung. Damit ist die Erteilung von efferenten Steuer- und Korrekturimpulsen an die Muskulatur gemeint. (1977/S.67)

Wie im Modell zu erkennen ist, sind die Programmierung und der Sollwert-Istwert-Vergleich mit dem vorgegebenen Handlungsziel, sowie mit dem motorischen Gedächtnis verbunden.

Die zum motorischen Gedächtnis bestehende Wechselbeziehung ist in der Abfrage von u.a. gespeicherten Erfahrungen, Teilprogrammen und Ergebnissen einerseits und der Speicherung der neuen Programme und Ergebnisse andererseits zu sehen. (1977/S.67)

Als "Schlüsselmechanismen" werden von SCHNABEL unter Bezugnahme auf ANOCHIN (ebd. 1967) drei Funktionskreise betrachtet. Es sind dies die oben genannten Teilfunktionen b., c. und d.

zu b.) Informationsaufnahme und -verarbeitung

Bevor eine Bewegung beginnt erfolgen Anlaß- und Situationsafferenzen. Auf Grundlage dieser Informationen wird eine zweckentsprechende Programmierung vorgenommen.

Bei nicht standardisierten Bewegungsakten (veränderliche Situationen), wie z.B. beim Skilaufen, erfolgt eine "gleitende Programmierung". Anlaß- und Situationsafferenzen sind dabei nicht scharf zu trennen.

In der Regel ist beim Beginn einer Bewegung eine Grobprogrammierung abgeschlossen. Während der Bewegung erfolgen ständig Korrekturen aufgrund von Reafferenzen.

Nach ANOCHIN (ebd. 1958,1967) werden diese Informationen in bewegungslenkende und resultative Reafferenzen unterteilt (Abb.3).

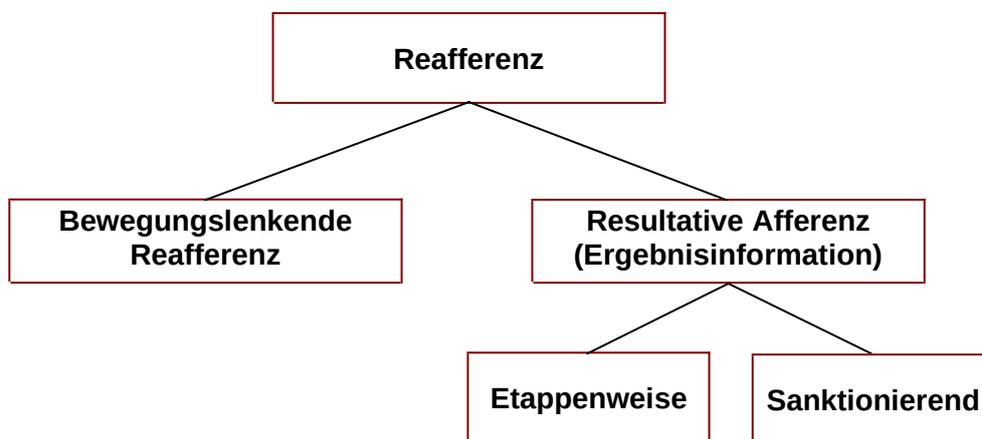


Abb.3: Unterscheidung verschiedener Reafferenzen.

Unter bewegungslenkenden Reafferenzen versteht man die kinästhetischen Signale der Propriozeptoren; resultative Reafferenzen sind komplexe Informationen über den Erfolg der Handlung. Letztere erfolgen einerseits sukzessive (etappenweise) als Ergebnisse von Teilschritten, an-

dererseits am Ende der Bewegung als endgültige (sanktionierende) Reafferenz.

Bei der für den Bewegungsakt bedeutsamen Afferenzsynthese bildet sich eine synthetische Einheit aus vorangegangenen Reizen (Abb.4).

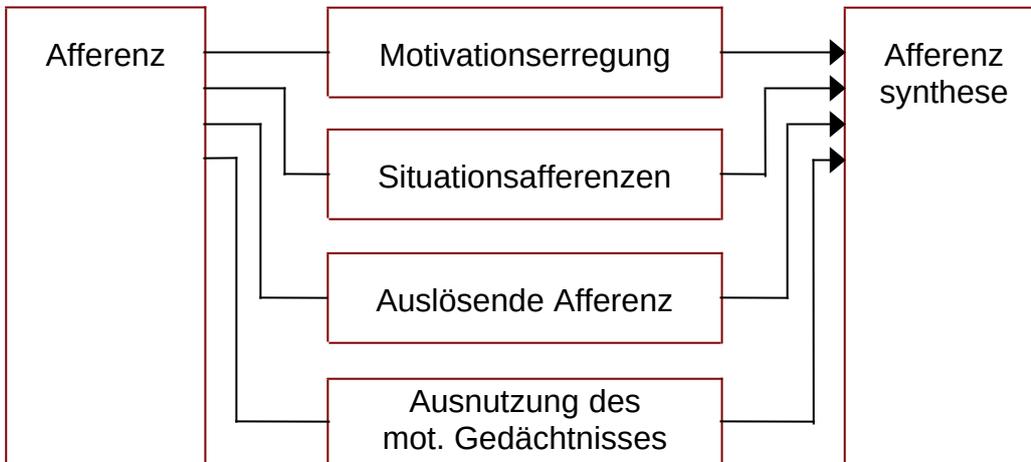


Abb.4: In die Afferenzsynthese eingehende Reize.
(Auslösende Afferenz = Anlaßafferenz)

Für die Afferenzen und Reafferenzen sind folgende fünf Analysatoren wichtig:

- Der kinästhetische Analysator,
- der taktile Analysator,
- der statico-dynamische Analysator,
- der optische Analysator,
- der akustische Analysator. (1977/S.68-73)

Nach PAWLOWs Lehre vom ersten und zweiten Signalsystem werden sensorische Informationen beim Mensch und auch beim Tier als spezifische, unmittelbare Signale von den Rezeptoren der Analysatoren aufgenommen. In bioelektrische Impulse umkodiert erfolgt dann die Weiterleitung und Verarbeitung dieser Signale. Bei der Afferenzsynthese treten die Signale zwar in enge Beziehung zueinander, der Inhalt der Information bleibt jedoch „an die physikalische Struktur der für die einzelnen Rezeptoren adäquaten Reize gebunden“.

In einem verbalen Signalsystem, wie es der Mensch besitzt, können hingegen Informationen verschiedener Analysatoren vereint werden. Dabei kommt es zu einer Reduktion der Information, die im Sinne einer Verall-

gemeinerung abläuft (Abstraktion). Die Funktion der Sprache ist insbesondere beim motorischen Lernen von Bedeutung. (1977/S.78/79)

In Zusammenhang mit den Signalsystemen steht auch die Speicherung von Informationen. Grundlage für das zweite Signalsystem sind bedingt-reflektorische Verbindungen zwischen den ersten Signalen (Analysatoren) und den Sprechbewegungen sowie deren kinästhetischer und akustischer Rückinformation. Auf der Basis dieses sensorisch-verbale Mechanismus' erfolgt überwiegend die Speicherung. Durch die Systematik des verbalen Signalsystem werden auch die Erfahrungen systematisiert. Dadurch ist der Mensch in der Lage in hohem Maße motorische Informationen zu speichern. (1977/S.79/80)

zu c.) Die Programmierung des Bewegungsablaufs

Nach und zum Teil auch schon während der Informationsaufnahme und -verarbeitung wird eine Entscheidung über die zu vollziehende Bewegung getroffen.

Dabei sind zwei Prozesse wesentlich:

- Die Vorausnahme der Zwischen- und Endergebnisse und
- die Bildung eines Handlungsprogramms.

Bei der "Zielantizipation" werden die Ergebnisse der bevorstehenden Handlung und deren Teilaktionen aufgrund der eingehenden Informationen im voraus konstruiert.

Davon unterscheidet man die "Antizipation des Handlungsprogramms" (Programmierung), die gewissermaßen als ein inneres Modell der motorischen Handlung zu verstehen ist. Dieses Modell entsteht durch die Verarbeitung der Situationsafferenzen sowie gespeicherter Bewegungserfahrungen und wird durch die Regelvorgänge während des Bewegungsvollzuges differenziert und modifiziert.

Durch eine im voraus berechenbare (antizipierte) Veränderung der Situation ist eine zweckmäßige Anpassung des Bewegungsprogramms möglich. (Dabei können offenbar wichtige von unwichtigen Bewegungsparametern unterschieden werden. (1977/S.64))

Im Unterschied zu reflektorischen Bewegungsakten wird durch Ergebnis- und Programm vorausnahme die Voraussetzung geschaffen, die Bewegung nicht nur durch äußere Signale, sondern auch von einem "inneren Modell" her zu steuern. Die kinästhetischen Informationen spielen hier eine wesentliche Rolle.

Für die Antizipation und die Programmierung selbst ist das verbale Signalsystem von entscheidender Bedeutung. (1977/S.83-88)

d.) Der Sollwert-Istwert-Vergleich

Da man bei der Bewegungskoordination ständige Korrekturen beobachten kann, muß man auf eine ständige Regelung, die auf einem Sollwert-Istwert-Vergleich beruht, schließen.

Grundlage dafür sind die antizipierten Ergebnisse und das entsprechende Bewegungsprogramm, zu deren Verwirklichung permanent die Teilschritte der Bewegung mit dem Gesamtziel, den Teilzielen und dem Verlaufsprogramm verglichen werden müssen.

Auf diesem Vergleichsvorgang basieren die korrigierenden Impulse.

Zur Realisation derartiger Prozesse hinterläßt nach der Fassung des Reafferenzprinzips von HOLST, v./MITTELSTAEDT (ebd. 1950) jedes effektorische Signal zumindest eine Kopie, die zum Sollwert-Istwert-Vergleich herangezogen wird.

Nach ANOCHIN entsteht mit dem Handlungsprogramm der "Handlungsakzeptor", der bei jeder Efferenz die zu erwartenden Signale in einem afferenten Modell vorhersagt und somit die Voraussetzungen für einen Vergleich mit den tatsächlich eingehenden Informationen schafft.

Die Folgeerscheinungen eines derartigen Vergleichs sind nach BERNSTEIN (ebd. 1975):

- Der Korrekturimpuls wird durch die Divergenz von Soll- und Istwert bestimmt.
- Die Information über die Realisation eines Mikroelements des Programms bewirkt die Umschaltung auf das darauffolgende Sollwertelement und der dazugehörigen Efferenzen.
- Die Information über größere Störungen hat eine adaptive Umstellung des Programms zur Folge. Dies kann bis zur qualitativen Reorganisation des Programms führen.

Entsprechend den drei Folgeerscheinungen gibt es drei "Regimes" der Regelung:

- Das Kompensationsregime,
- das Regime der Folgeregelung,
- das Regime der Selbstregelung (Selbstorganisation).

Ein wichtiger Kontrollmechanismus wird durch das Prinzip der "frischen Spuren" nach BERNSTEIN erklärt.

Die Informationen über die momentane Lage wird dabei mit der vorhergehenden Lageinformation, die in "frischer Spur" gespeichert ist, verglichen. Unter der Annahme einer physiologisch festgelegten, zeitlichen Differenz

von 0,07 - 0,12 s zwischen den beiden Meßwerten kann die Bewegungsgeschwindigkeit ermittelt werden.

Dieses offenbar universelle Prinzip macht die Wahrnehmung der Bewegung als Prozess erst möglich.

Des weiteren erkennt man an der Tatsache, daß zur Bewegungskorrektur nicht nur die jeweils ermittelte Divergenz, sondern auch die Geschwindigkeit der Veränderung ausschlaggebend ist, die komplexe Arbeitsweise des Vergleichsmechanismus. (1977/S.93-97)

Um die Bewegungskoordination in der Praxis zu erfassen, stellt SCHNABEL folgende **Bewegungsmerkmale** zusammen:

- Die Struktur,
- den Bewegungsrhythmus,
- die Bewegungskopplung,
- den Bewegungsfluß,
- die Präzision,
- die Konstanz,
- den Umfang,
- das Bewegungstempo,
- die Bewegungsstärke. (1977/S.99-197)

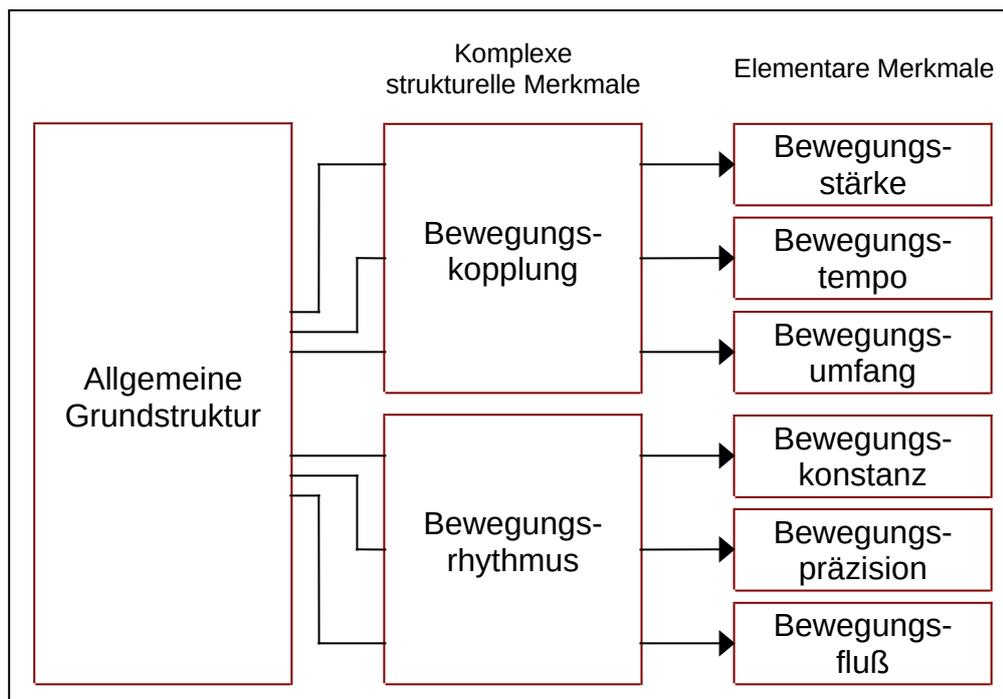


Abb.5: Überblick über die Bewegungsmerkmale. Die Pfeilrichtung kennzeichnet die Vorgehensweise bei der Bewegungsbeobachtung.

Als **koordinative Fähigkeiten** sind diejenigen Eigenschaften zu bezeichnen, die die Bewegungssteuerung und -regelung betreffen. Damit sind sie gegenüber den konditionellen Fähigkeiten abgegrenzt. (1977/S.197)

Der Begriff "Bewegungsfertigkeiten", auch "motorische Fertigkeiten" genannt, bezieht sich auf einen konkreten Handlungsvollzug, wohingegen die koordinativen Fähigkeiten Voraussetzungen für eine ganze Gruppe motorischer Tätigkeiten sind. Der Unterschied liegt also im Grad der Allgemeinheit.

Beides entwickelt sich auf der Grundlage elementarer Anlagen in der tätigen Auseinandersetzung mit der Umwelt. Die koordinativen Fähigkeiten sind einerseits Grundlage für die Entwicklung von motorischen Fertigkeiten, andererseits entwickeln sich mit den Bewegungsfertigkeiten auch die koordinativen Fähigkeiten weiter. Es besteht also eine wechselseitige Verflechtung. (1977/S.199)

Zur **Gewandtheit** definiert SCHNABEL (1977/Zitat S.200): „Wir verstehen unter *Gewandtheit* die *Fähigkeit zur schnellen und zweckmäßigen Lösung motorischer Aufgaben*“.

Nach ZACIORSKI (ebd. 1971) gelten als Kriterien der *Gewandtheit*:

- Die bewältigte Koordinationsaufgabe,
- die Anpassungs- bzw. Umstellungszeit,
- die Lernzeit bzw. der Lernfortschritt.

Daraus ergibt sich die *Gewandtheit* als Komplex folgender allgemeiner koordinativer Fähigkeiten:

- Die motorische Steuerungsfähigkeit,
- die motorische Anpassungs- und Umstellungsfähigkeit,
- die motorische Lernfähigkeit.

Bei der Bestimmung der motorischen Steuerungsfähigkeit gilt: Die Schwierigkeit der Koordinationsaufgabe steigt mit der Anzahl der zu verbindenden Elemente, der Anzahl der zu bewältigenden Freiheitsgrade, dem Umfang der Bewegung (Abweichung von der Gleichgewichtslage) sowie dem Grad der Ausschöpfung der konditionellen Fähigkeiten.

Die motorische Anpassungs- und Umstellungsfähigkeit läßt sich über die Zeit, die in standardisierten Situationen zur Lösung von Anpassungs- und Umstellungsaufgaben benötigt wird, ermitteln.

Die Erfassung der motorischen Lernfähigkeit kann über die zum Erreichen eines bestimmten Fertigkeitenniveaus vergangene Zeit bzw. benötigten Wiederholungen der Übung geschehen. Das Fertigkeitenniveau wird dabei an Merkmalen wie Bewegungspräzision oder -fluß gemessen (standardisierte Bedingungen!). (1977/ S.200-203)

Zur weiteren Differenzierung stellt SCHNABEL folgende **spezielle koordinative Fähigkeiten** zusammen:

- Die Geschicklichkeit (feinmotorische Aufgaben),
- die Gleichgewichtsfähigkeit,
- die Bewegungselastizität (fließende Bewegungsumkehr),
- die motorische Kombinationsfähigkeit,
- die Bewegungsphantasie (z.B. neue Techniken)

Abbildung 6 zeigt die unterschiedliche Ausprägung (Schraffur) der allgemeinen koordinativen Fähigkeiten in den speziellen koordinativen Fähigkeiten.

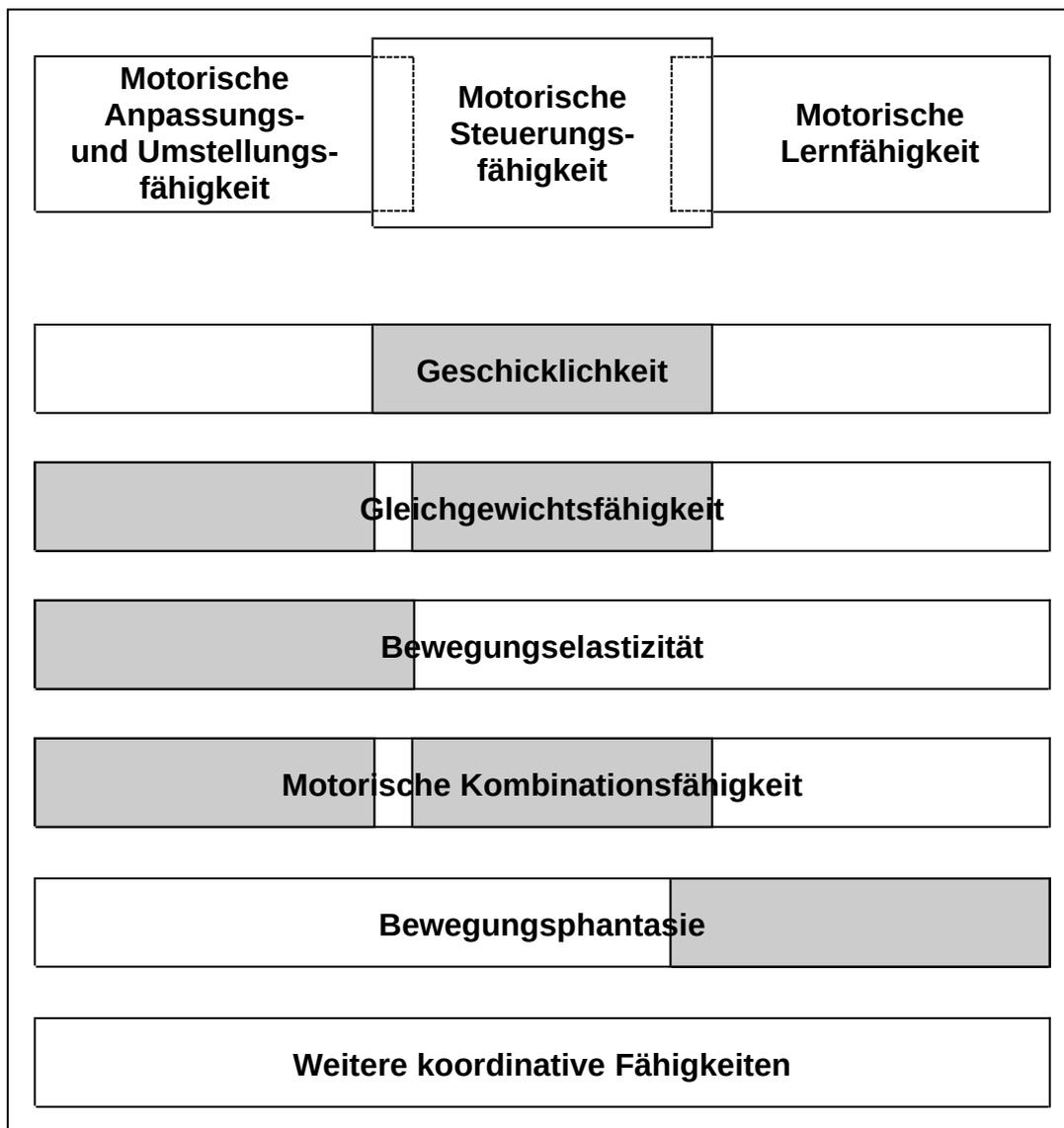


Abb.6: Allgemeine und spezielle koordinative Fähigkeiten.

2.4 Koordination nach P. Hirtz

HIRTZ unterscheidet bei der "körperlichen Leistungsfähigkeit" die wesentlichen Komponenten

- konditionelle Fähigkeiten,
- koordinative Fähigkeiten und
- motorische Fertigkeiten.

Ein wichtiger Aspekt sind dabei die Beziehungen zwischen den Elementen. (1985/S.12/13)

Die **koordinativen Fähigkeiten** werden näher bestimmt als die „Leistungsvoraussetzungen für bestimmte, konkrete Arten der gegenständlich-praktischen Tätigkeit, für eine bestimmte Klasse von Bewegungshandlungen, die durch spezifische und relativ hohe Anforderungen an die Steuerung und Regelung der Bewegungstätigkeit gekennzeichnet sind“. (1985/Zitat S.13)

Sie stellen die verfestigten Verlaufsqualitäten bestimmter Bewegungssteuerungsprozesse dar.

Dieser Verallgemeinerungscharakter der koordinativen Fähigkeiten ist der entscheidende Unterschied zu den Bewegungsfertigkeiten, mit denen sie in einer Wechselbeziehung stehen. (1985/S.14-16)

Basis für die Entwicklung koordinativer Fähigkeiten sind vorwiegend neurophysiologische Funktionsmechanismen. Der Bewegungsapparat wird dabei vom Zentralnervensystem gesteuert. Die Steuerung erfolgt auf der Grundlage der von den Rezeptoren aufgenommenen Signale. Das ZNS besteht aus verschiedenen Zentren, die für unterschiedliche Steuerprozesse zuständig sind. (1985/S.17/18)

Die komplizierten Steuerungs- und Regelungsvorgänge lassen sich in einem **vereinfachten Modell** darstellen (Abb.8).

Dieses System stellt die ständig ablaufenden Wechselwirkungen des Organismus mit seinem inneren und äußeren Milieu dar.

Die aus der Umwelt über die Rezeptoren aufgenommenen Afferenzen über den Anlaß, die Bedingungen und die Motivation werden in der Afferenzsynthese unter Bezugnahme des motorischen Gedächtnisses verarbeitet.

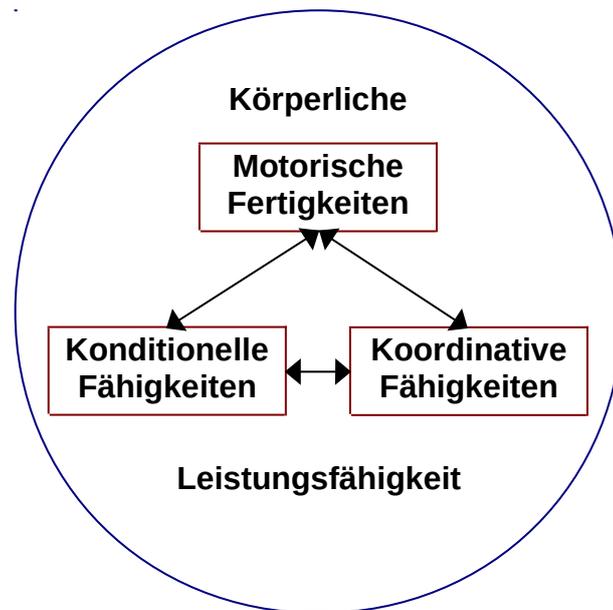


Abb.7: Wechselwirkung der Komponenten, z.B. Bedeutung der Koordination für die Schnelligkeit.

Auf dieser Grundlage kann ein Handlungsprogramm (inneres Modell der Bewegungshandlung) erstellt werden, das die auszuführende Bewegung antizipiert. Derartige Bewegungsprogramme kann man sich als „zeitlich und räumlich geordnete Impulsmuster in Gruppen, Ketten oder Netzen von Nervenzellen, komplizierte motorische Innervationsmuster, Systeme von Ausführungsreizen vorstellen“ (Zitat S.19). (1985/S.19)

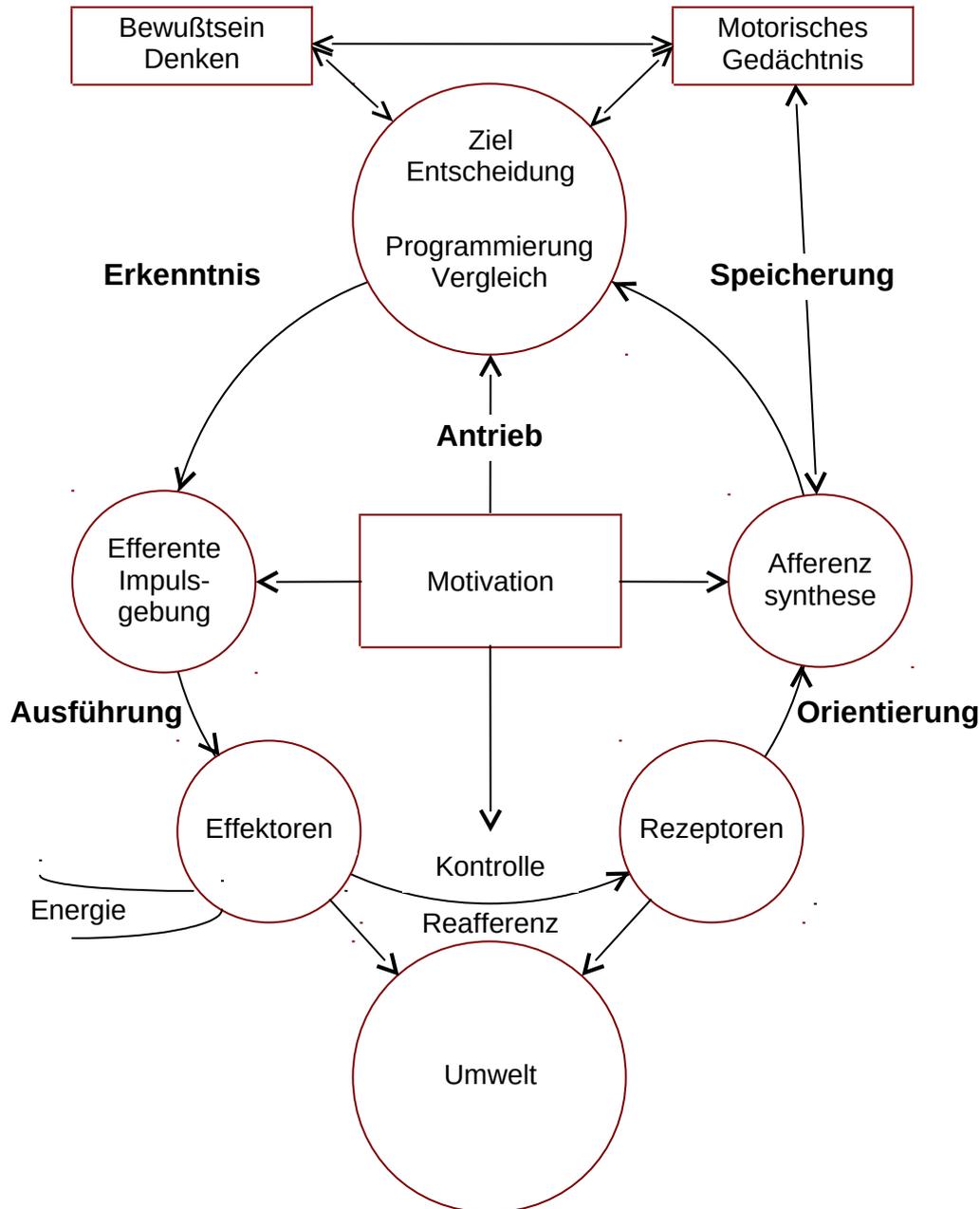


Abb.8: Modell der Steuerung und Regelung von Bewegungshandlungen nach Erkenntnissen von BERNSTEIN, ANOCHIN, TSCHAJDSE, FARFEL, SCHNABEL, GALPERIN UND KOSSAKOWSKI.

Im Bewegungsgedächtnis sind genetisch festgelegte Basisprogramme, sowie erworbene Programme gespeichert, die bei entsprechendem Informationszustrom zu höheren Einheiten zusammengefasst werden können. (1985/S.19 vgl. PICKENHAIN 1979)

Das Bewußtsein ist an den Bewegungshandlungen beteiligt und hat besondere Bedeutung bei der Bewegungsregulation. Ein steuernder Eingriff in die Bewegungsprogrammierung ist durch abstrakte Begriffe (Sprache) möglich.

Die Ausführung der Bewegung schließlich kommt durch das Zusammenspiel der efferenten Impulse des Bewegungsprogramms und der Energiebereitstellung zustande.

Die über den inneren (Propriorezeptoren) und äußeren (Telerezeptoren) Regelkreis aufgenommenen Reafferenzen spiegeln Verlauf und Ergebnis der Handlung wieder und dienen via Sollwert-Istwert-Vergleich der Kontrolle und Korrektur. Nichtübereinstimmung der Werte führt zur Präzisierung des Bewegungsprogramms.

Wichtiger Bestandteil des Modells sind die "Antriebspotenzen", die Einfluß auf wesentliche Teilfunktionen der Bewegungssteuerung haben. Die momentane Motivation beeinflusst beispielsweise die Sorgfalt, mit der eine Situationsanalyse vorgenommen wird und damit die Qualität des Bewegungsprogramms.

Als wesentliche Mechanismen des Systems nennt HIRTZ die Afferenzsynthese, die komplexe Reafferenz sowie das Bewegungsgedächtnis, da diese direkte "Einflußkanäle" für die Koordination darstellen.

Afferenzsynthese und Reafferenzen sind von der Arbeitsweise der Analytoren abhängig. Die Differenziertheit der von ihnen aufgenommenen Informationen bestimmt u.a. die Auswahl der Signale, die für Anlaß- und Situationsafferenzen verwendet werden, sowie die Schnelligkeit und Genauigkeit der Korrektur.

Dabei spielt der kinästhetische Analysator mit seinem hohen Differenzierungsvermögen eine entscheidende Rolle. Man unterscheidet zwei Arten von Rezeptoren:

- Die Propriorezeptoren in den Muskeln und Sehnen und
- die Endorgane der Gelenktaschen.

Die in Form von synaptischen Verschaltungen im motorischen Gedächtnis gespeicherten Bewegungserfahrungen sind für die Schnelligkeit und Genauigkeit der Programmierung von Wichtigkeit. Dazu sind über die Speicherung (auf sensorisch-verbaler Grundlage) hinaus auch die Reproduktion, die Optimierung und die vorausschauende Nutzung des "Bewegungsschatzes" zur Lösung neuer Aufgaben bedeutsam. (1985/S.19/20)

HIRTZ unterteilt die Steuerung und Regelung noch in zwei Ebenen. Die sensomotorische Ebene ist für die Reflexe, den Muskeltonus, einfache lokomotorische Akte, Körperstellungen und die Reihenfolge bei Extremitätenbewegungen zuständig.

Die kognitiv-bewußte Ebene erstellt übergreifende Handlungsprogramme auf Grundlage einer Auseinandersetzung mit den Handlungsbedingungen. (1985/S.20)

Aus der Vielzahl der in der Literatur unter verschiedenen Aspekten genannten koordinativen Fähigkeiten versucht HIRTZ die in Bezug auf bestimmte Sportarten sowie den Schulsport **wesentlichen koordinativen Fähigkeiten** herauszufiltern.

Dazu werden zunächst die "psychophysischen" Leistungsvoraussetzungen abgegrenzt. Man versteht darunter beispielsweise die Fähigkeit zur Aufnahme, Differenzierung, Verarbeitung und Speicherung von Informationen, die Fähigkeit zur Steuerung des Muskeltonus oder der Orientierung im Raum.

Eine weitere Einschränkung erfolgt durch die Forderung, daß zu den koordinativen Fähigkeiten nur diejenigen zu zählen sind, die zur Lösung von Bewegungsaufgaben mit relativ hohen koordinativen Anforderungen benötigt werden.

Man unterscheidet darüber hinaus zwischen koordinativen Fähigkeiten höherer und niederer Ordnung nach folgenden Aspekten:

- Allgemeinheitsgrad,
- Komplexität,
- Grad der Beteiligung intellektueller Regulationsebenen,
- Qualität beteiligter Antriebspotenzen.

Ansatzpunkt einer derartigen, noch zu erstellenden Systematik ist die Einordnung der motorischen Lern- und Anpassungsfähigkeit, der Transferabilität und der Disponibilität in die höhere Ebene.

Des Weiteren werden noch koordinative Fähigkeiten, die im Zusammenhang mit konditionellen Funktionspotenzen auftreten als Sondergruppe abgegrenzt. Dazu gehören die Schnell-, Schnellkraft- und Ausdauerkoordinationsfähigkeit.

Die koordinativen Fähigkeiten in der noch verbleibenden Gruppe beziehen sich jeweils auf bestimmte Klassen von Bewegungen mit hoher koordinativer Anforderung. Hierbei sind u.a. zu nennen: Die motorische Steuerungs-, Kopplungs-, Kombinations-, Gleichgewichts-, Rhythmus-, Reaktions-, Orientierungs-, Differenzierungs-, Entscheidungs-, Ausdrucksfähigkeit, sowie die Geschicklichkeit und die Muskelentspannungsfähigkeit. (1985/S.27-30)

Für die Praxis erstellt HIRTZ eine Aufteilung in **sportartspezifische koordinative Fähigkeiten**, die jeweils leistungsbestimmend sind. (1985/S.30) Außerdem werden die **für den Schulsport fundamentalen koordinativen Fähigkeiten** bestimmt.

Unter Verwendung unterschiedlicher Kriterien kommt es zu der in Abb.9 dargestellten Auswahl und Wechselbeziehung. (1985/S.31-35)

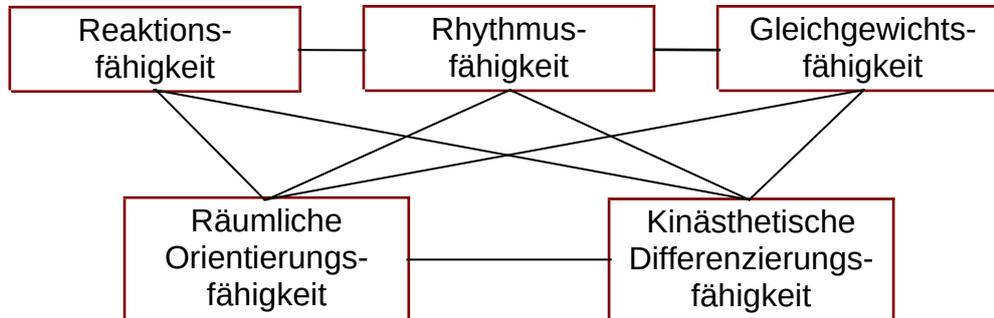


Abb.9: Wechselbeziehungen fundamentaler koordinativer Fähigkeiten.

Abschließend sei noch auf den in Abbildung 10 gezeigten Versuch einer hierarchischen Ordnung koordinativer Leistungsvoraussetzungen hingewiesen. (1981/S.349 in WEINECK 1990/S.265)

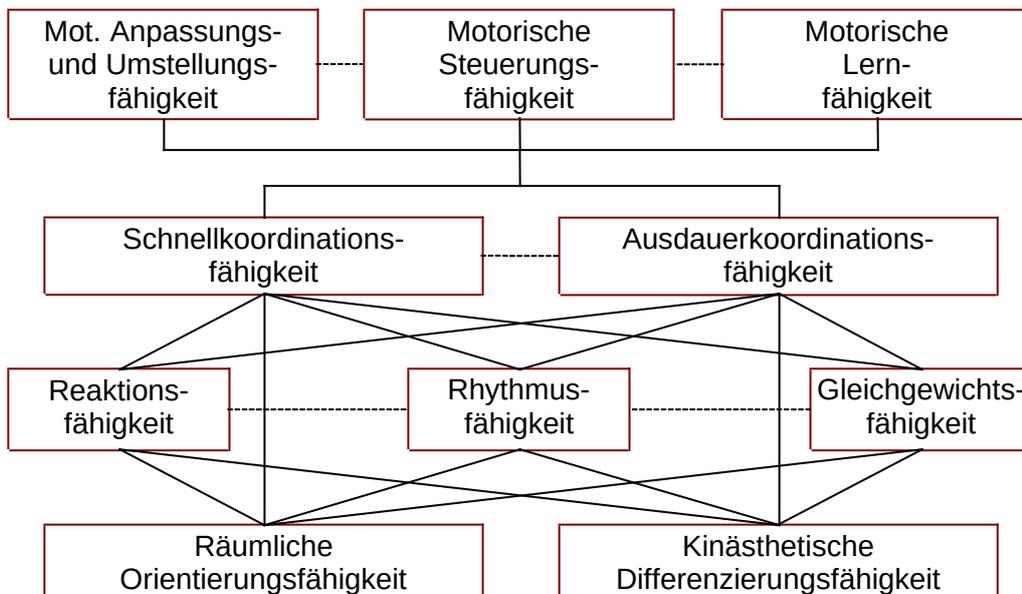


Abb.10: Hierarchische Ordnung koordinativer Fähigkeiten.

2.5 Koordination nach K. Roth

2.5.1 Leistungsvoraussetzungen

Ausgehend vom Begriff der "sportlichen Leistungsfähigkeit" differenziert ROTH exogene und endogene Einflußgrößen.

Als "exogen" werden gesamtgesellschaftliche Einflüsse, sowie Einflüsse des direkten gesellschaftlichen Umfeldes (Mikrogruppen) und der konkreten Situation bei der sportlichen Tätigkeit bezeichnet. Die endogenen Voraussetzungen hingegen beinhalten u.a. die motorischen Merkmalsbereiche (z.B. Koordination), psychische und intellektuelle Leistungskomponenten und anthropometrische Kenngrößen.

Aus den endogenen Bedingungsfaktoren werden die die *Sportmotorik* (Funktions- und Steuerungsprozesse) betreffenden unter dem Begriff der "sportmotorischen Leistungsfähigkeit" abgegrenzt und weiter unterteilt in "allgemeine" und "sportartspezifische" sportmotorische Leistungsfähigkeit. Letztere ist im Sinne eines Anforderungsprofils jeweiliger Sportarten zu verstehen.

Die *allgemeine* sportmotorische Leistungsfähigkeit beinhaltet die allgemeinen (Kondition, Koordination) und die speziellen sportmotorischen Fähigkeiten = Fertigkeiten (elementare, sportartspezifische). Abb.11 veranschaulicht diesen Sachverhalt:

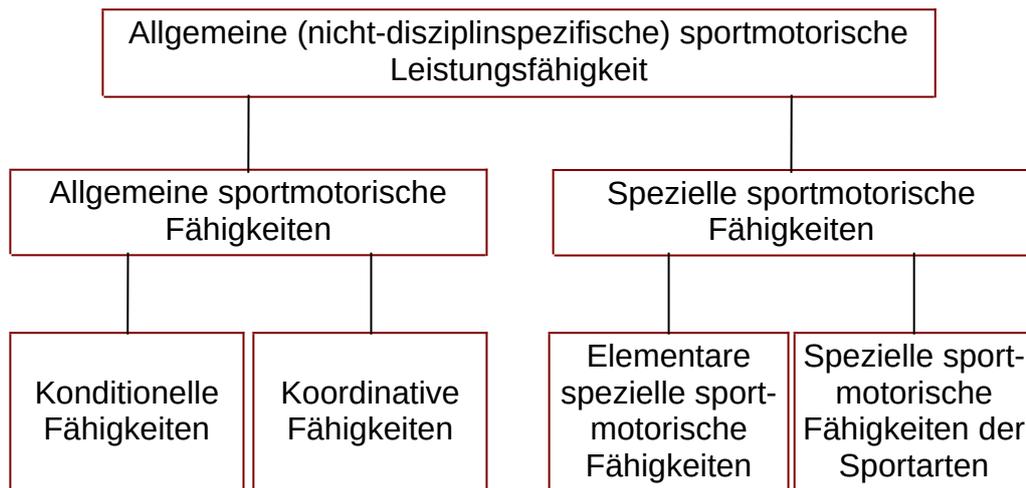


Abb.11: Elemente der allgemeinen sportmotorischen Leistungsfähigkeit.

Die im Schema diskrete Unterteilung in allgemeine und spezielle sportmotorische Fähigkeiten kann auch als Kontinuum mit einem allgemeinen und einem speziellen Pol verstanden werden, da dies den Sachverhalt präziser darstellt. (1982/S.16-25)

Elementare und sportartspezifische Fähigkeiten enthalten sowohl konditionelle als auch koordinative Komponenten. Sie beziehen sich auf das Leistungsniveau *einer* Klasse von Bewegungshandlungen. (1982/ S.25)

Während sich sportartspezifische Fähigkeiten durch die Anforderungen jeweiliger Sportarten bestimmen lassen, stellen die elementaren Fähigkeiten (Abb.12) Mindestanforderungen für die erfolgreiche Teilnahme an einer Vielzahl von Wettkämpfen dar. (1982/S.25/26)

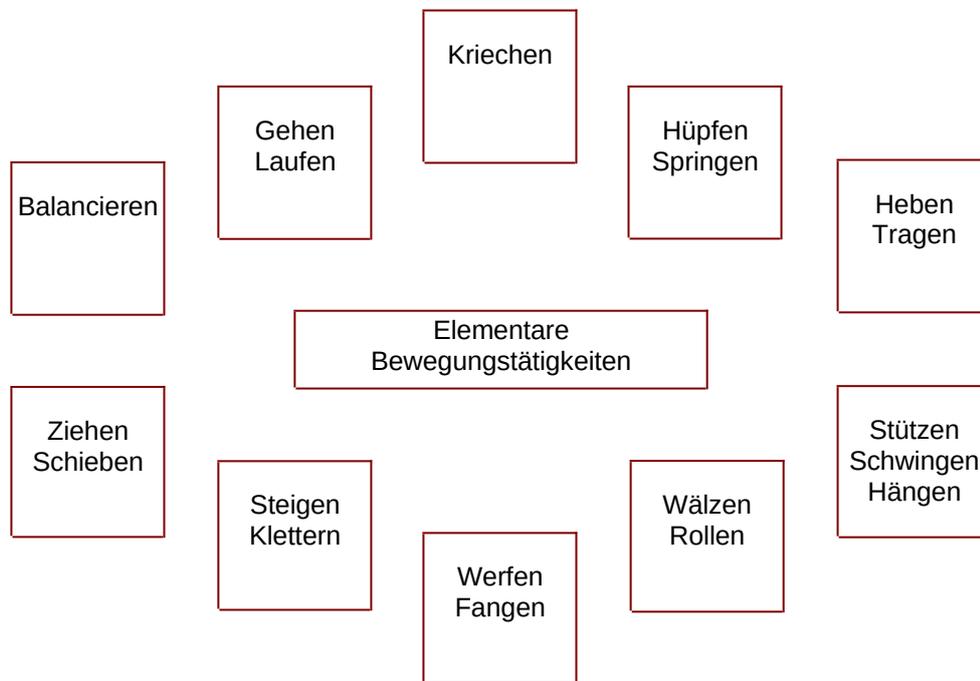


Abb.12: Die elementaren Bewegungstätigkeiten.

Die Komponenten der konditionellen und koordinativen Fähigkeiten können einerseits induktiv, andererseits deduktiv bestimmt werden.

Bei der **induktiven Vorgehensweise** wird aus der Untersuchung sportlicher Tätigkeitsklassen anhand von Bewegungsmerkmalen auf allgemeine Fähigkeiten als Leistungsvoraussetzung geschlossen. Hierbei sind noch "inhaltlich-logische" (nicht-standardisierte Bedingungen) und "statistische" (standardisierte Bedingungen) Arbeiten zu unterscheiden.

Die **deduktive Methode** besteht in der Ableitung allgemeiner Kategorien aus dem (neuro-)physiologischen Wissen bezüglich der Steuerungs- und Funktionsprozesse und den theoretischen Kenntnissen über die Koordination. (1982/S.26/27)

Eine Verbindung beider Methoden erscheint sinnvoll im Sinne einer gegenseitigen Absicherung und terminologischen Einheitlichkeit. (1982/S.28 und 1983/S.53-56)

Im Bereich der Kondition finden sich in der Literatur relativ gut ausgearbeitete Ordnungssysteme, d.h. Komponenten und deren Interdependenzen. (1982/S.28-36 und 1983/S.60-68)

2.5.2 Induktive Ansätze

Bei den koordinativen Fähigkeiten konnte ROTH durch Auswertung der **inhaltlich-logischen Darstellungen** keine Übereinstimmung der Analysen feststellen. (1982/S.42)

Die Ergebnisse der **statistischen Verfahren** zur Erfassung koordinativer Fähigkeiten lassen sich hingegen -wie in Abbildung 13- gezeigt in einem hierarchischen Modell zusammenfassen. (1982/S.52)

2.5.3 Deduktive Ansätze

Deduktive Ansätze sind u.a.:

- a.) Closed-loop-Theorien,
- b.) Open-loop-Theorien,
- c.) Schema-Theorien. (1982/S.55/56)

zu a.) **Closed-loop-Theorien**

Kybernetisch orientierte Closed-loop-Modelle sind durch eine auf der Verarbeitung sensorischer Rückmeldungen basierende Bewegungskorrektur zu charakterisieren. Der Vergleich der Rückmeldungen mit einem gespeicherten Sollwert führt dabei im Falle einer Differenz zu Korrekturprozessen.

Typische Elemente derartiger Modelle sind:

- Eine exakt definierte und vom Organismus meßbare Regelgröße,
- ein funktionaler Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsinformationen und der Regelgröße,
- eine Wirkungsumkehr zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Regelkreises (Efferente Korrekturkommandos sind den reafferenten Signalen qualitativ entgegengesetzt). (1982/S.64/65)

Das auf Untersuchungen bzw. Theorien von BERNSTEIN und ANOCHIN zurückgehende kybernetische Modell von SCHNABEL wurde bereits unter Punkt 2.3 beschrieben.

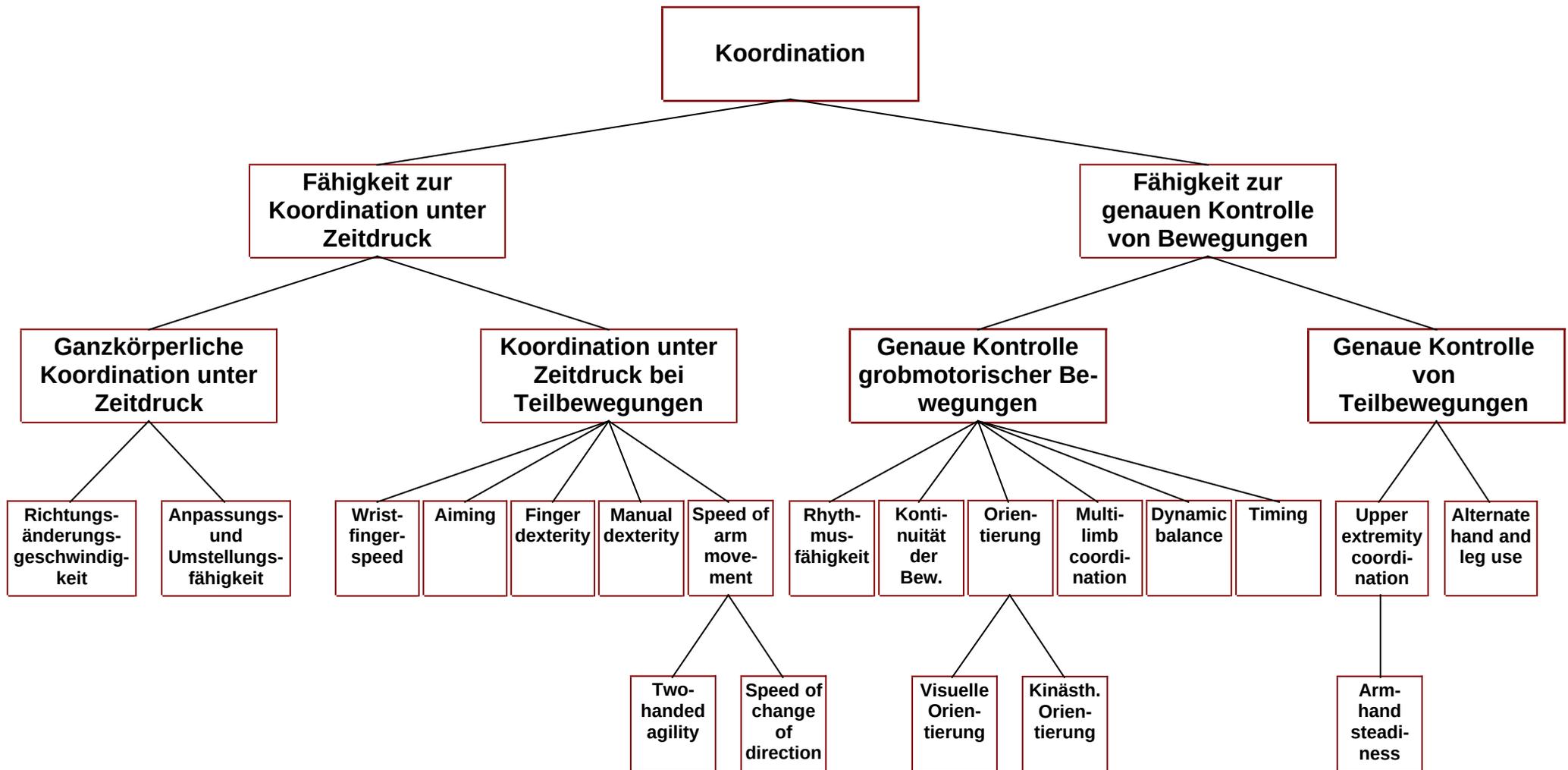


Abb.13: Hierarchische Ordnung der statistisch untersuchten Komponenten. Schraffierte Fläche = Logisch ergänztes Konstrukt.

Des weiteren sei noch die Theorie von ADAMS (ebd. 1971) genannt, die eine dem ANOCHINSchen Handlungsakzeptor ähnliche Instanz zur Antizipation der Sollwerte beinhaltet. Diese "Gedächtnisspuren" sind jedoch vergleichsweise unabhängig von den efferenten Erregungen. (1982/S.67/68)

Vorteil einer derartigen Unabhängigkeit ist die Möglichkeit zum Erkennen von Fehlern in der Programmierung.

Die Funktionstüchtigkeit der Überprüfungsinstanz beim Erlernen einer Bewegung ist von der Speicherung von Erfahrungen gleichartiger Handlungen abhängig.

In einem frühen Lernstadium, ohne solche Erfahrungen, erfolgt die Korrektur primär über externe Stimuli (Knowledge of result). Mit zunehmender Zahl an Wiederholungen kann die aktuelle Bewegung mit den bereits gesammelten Erfahrungen verglichen werden, um den folgenden Versuch besser zu gestalten. Nach mehrmaliger korrekter Bewegungsausführung präzisiert und festigt sich die Gedächtnisspur (perceptual-trace), so daß sich schließlich ein Modalwert mit dem korrekten Bewegungsablauf bildet.

Der weitere Lernfortschritt einer Bewegung, die nun durch geschlossene Schleifen des zentralen Nervensystems realisiert wird, ist dann ohne *knowledge of result* möglich.

Die Korrektur erfolgt aufgrund des Vergleichs der efferenten Signale mit dem Modalwert.

Aus logischen und empirischen Erwägungen schließt ADAMS auf das Vorhandensein einer weiteren Gedächtnisstufe (memory-trace), die als "bescheidenes" motorisches Programm die erste Phase der Bewegung festlegt. (1982/S.70/71)

Die Theorie beschränkt sich auf einfache, langsam ausgeführte lineare Positionierungsaufgaben. (1982/S.70)

zu b.) **Open-loop-Theorien**

Die Gemeinsamkeit von Open-loop-Theorien besteht in der weitgehenden Unabhängigkeit der Bewegungsausführung von Feedback-Informationen (Rückmeldungen). (1982/S.55)

Reflexe (Stimulus-Response-Verbindungen) werden als "Elementarbausteine" des menschlichen Verhaltens angesehen. Die Erweiterung des motorischen Repertoires erfolgt durch Kombination der bereits vorhandenen Elemente. Kennzeichnend ist der einsinnige Wirkungsverlauf der Open-loop-Kontrolle. (1982/S.56)

Die **Programme** zur Bewegungskontrolle bestehen aus zentral gespeicherten, efferenten Kommandos, die durch sequentielle sowie zeitliche Ordnung zur Zielbewegung führen.

Die Ordnung bei der Speicherung der Kommandos erfolgt nach KEELE (ebd. 1977) nicht nach der Position in der Gesamtbewegung, sondern im Sinne einer "Ereignis-zu-Ereignis-Assoziation". Diese sequentielle Programmstruktur ist zudem als "hierarchisch überformt" anzusehen, d.h. gefestigte Folgen von Muskelaktionen können als Komponenten in übergeordnete Programme eingebaut werden.

Die Programmierung erfolgt dabei von einem groben Entwurf ausgehend und wird unter Heranziehung von Subroutinen und Unterbefehlen immer detaillierter.

Durch die Annahme allgemeiner Programme, die durch die Festlegung spezifischer Parameter zu Beginn der Bewegung konkretisiert werden, kann das "storage-problem", bei dem von einem Programm für jede Bewegung ausgegangen wird, gelöst werden. (1982/S.56/57)

In älteren Theorien (z.B. Untersuchungen von LASHLEY 1917) mit rein zentraler Bewegungsorganisation erfolgt die Fehlerbestimmung und Korrektur aufgrund des Vergleichs von Entladungen des Programms, die sämtliche die Bewegung betreffende Informationen enthalten, mit antizipierten Sollwerten. (1982/S.60/61)

Zur **Steuerung** gibt es zwei wichtige Theorien:

- Die gamma-Führung und
- die alpha-gamma-Koaktivierung.

Diese Unterteilung basiert auf der Differenzierung zwischen alpha- und gamma-Motoneuronen.

Die Entladungen der alpha-Motoneuronen sind für die Kontraktion der extrafusalen Muskulatur zuständig. Ein Motoneuron innerviert dabei immer mehrere Muskelfasern (motorische Einheit). Die Zuckungen dieser kleinsten funktionellen Bestandteile sind demnach das Minimalquantum an Muskeltätigkeit.

Für die Graduierung der Muskelkraft im Bewegungsvollzug kommen zumindest drei Mechanismen in Betracht:

- Die Summation von Einzelkontraktionen im Entladungsrhythmus des alpha-Motoneurons,
- die asynchrone Entladung von mehreren alpha-Motoneuronen,
- die tetanische Verschmelzung von schnellen Einzelkontraktionen.

Die gamma-Motoneuronen versorgen hingegen die intrafusale Muskulatur. Die Aufgaben der "fusimotorischen Innervation" sind die Regulation des Entladungsrhythmus der Muskelspindeln und die Sicherung des Mus-

keltonus bei verschiedenen Muskellängen. Über die Funktionsweise gibt es folgende Kenntnisse:

- Die Muskelspindeln werden durch Dehnungen der Skelettmuskulatur sowie durch Reizungen isolierter gamma-Fasern aktiviert.
- Jedes gamma-Motoneuron innerviert mehrere Muskelspindeln.
- Jede Muskelspindel wird von mehreren gamma-Motoneuronen innerviert.

Bei der **gamma-Führungstheorie** werden die gamma-Motoneuronen zentral programmiert bzw. aktiviert und damit die Muskelspindeln kontrahiert, sowie die entsprechenden Rezeptoren gedehnt. Die vergrößerte Entladung der Rezeptoren wird den alpha-Motoneuronen rückgemeldet, die dadurch die zugehörige extrafusale Muskulatur aktiviert. Durch diese Kontraktion nimmt die Dehnung der Muskelspindeln bis zur Normalisierung des Outputs der Rezeptoren ab.

Auf Grundlage dieses Kontrollmechanismus' ("Follow-up servo system") kann die Fähigkeit zur Bewegungsveränderung teilweise erklärt werden.

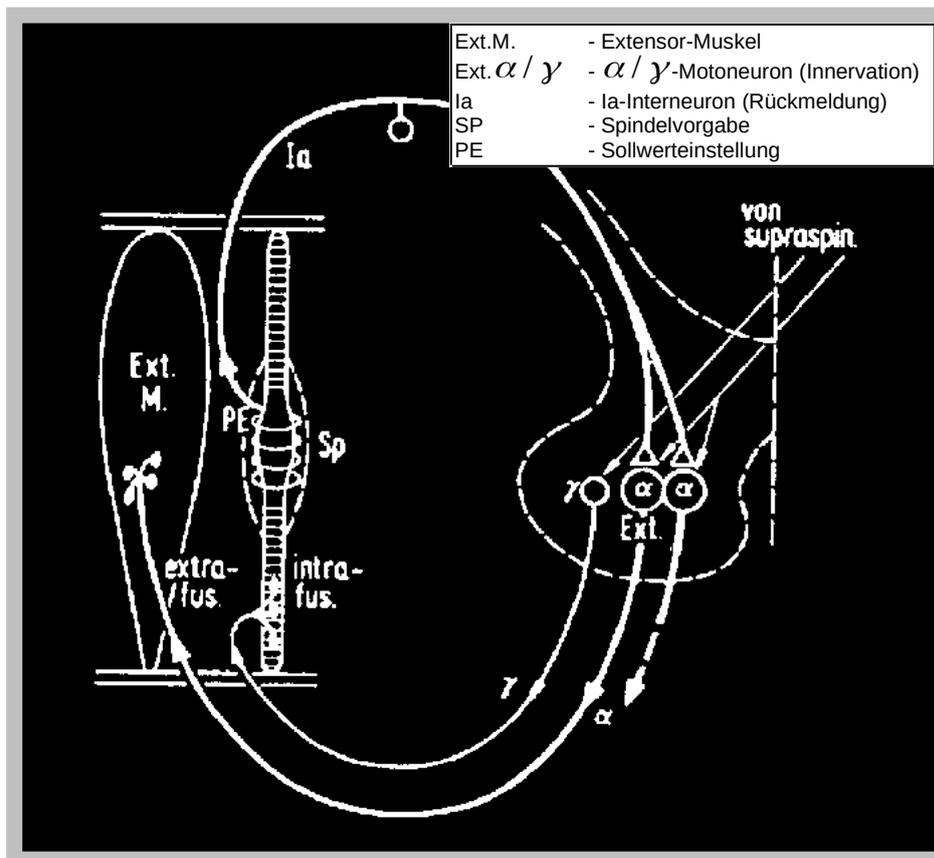


Abb.14: Innervation und Rückmeldung beim Extensor-Muskel.

Die Darstellung in Abb.14 enthält zusätzlich direkte supraspinale Antriebe der alpha-Motoneuronen, die bei der gamma-Führungstheorie wegfielen!

Die **alpha-gamma-Koaktivierungstheorie** besagt, daß die alpha- und gamma-Motoneuronen gleichzeitig Kommandos erhalten. Die gamma-Innervationen haben dabei weder direkten noch indirekten Einfluß auf die extrafusale Muskulatur, sondern sie kontrolliert den Grad der Dehnung der Muskelspindeln unabhängig von der passiven Dehnung durch die Skelettmuskulatur.

Im Gegensatz zur gamma-Führung erklärt diese Theorie die Möglichkeit zur Bewegungsausführung nach Deafferentierung.

Weitergehende Untersuchungen haben gezeigt, daß der Beginn von Bewegungstätigkeiten eher mit einem alpha-Vorsprung einhergeht, was auf eine Dominanz des alpha-Systems schließen läßt.

Andererseits ergaben Beobachtungen an Patienten mit Läsionen, daß ein Einfluß der gamma-Innervationen auf die Kontrolle und Beendigung feinmotorischer Bewegungen durchaus möglich sein kann.

Eine Verbindung beider Ansätze, die die Vorteile der Theorien vereint ist daher erstrebenswert. (1982/S.57-60)

Trotz der Anerkennung auch externer Rückmeldungen innerhalb neuerer Ansätze hat die Steuerung bei den Open-loop-Theorien gegenüber dem Programm eine untergeordnete Stellung. (1982/S.60)

Abschließend sei zu den Open-loop-Theorien gesagt:

Ein Vorteil der internen Steuerung (gamma-System) ist in der relativ kurzen Dauer für die Ausführung einer Operation der Feedback-Schleife zu sehen.

Wie man an der Plumpheit der Bewegungen deafferentierter Primaten erkennen kann, sind die internen Feedback-loops u.U. für die Eleganz der Bewegung wichtig. (1982/S.61)

Einige Interpretationen besagen, daß die Open-loop-Theorien hauptsächlich für Programme mit dominierenden genetischen Komponenten valide sind.

Darüber hinaus konnte in einer Untersuchung von PEW (ebd. 1966) eine Abhängigkeit zwischen dem Leistungsvermögen der Probanden und dem Verhältnis von Open-loop- zu Closed-loop-Kontrolle nachgewiesen werden. Demnach ist die Bedeutung reafferenter Informationen umgekehrt proportional zur zentralnervösen Fähigkeit einer detaillierten Antizipation. (1982/S.62)

Für die Existenz zentraler Impulsmuster spricht:

- Der Einfluß der Komplexität der Bewegungsaufgabe auf die Reaktionszeit,
- die motorische Äquivalenz, die an Transfer- oder Ermüdungseffekten bei gleichartigen Bewegungen verschiedener Körperteile in Erscheinung tritt,
- der Einfluß der Art der sequentiellen Ordnung einer Bewegung auf die motorische Leistung. (1982/S.64)

zu c.) **Schema-Theorien**

Schema-Theorien haben die Annahme allgemeiner Programme für definierbare Bewegungsklassen gemeinsam. Solche Pläne enthalten Strukturmerkmale und weitere Invarianten einer Fertigkeit wie etwa die zeitliche Relation der Kontraktionen oder die relativen Kräfte. Für jede Bewegungsklasse bildet sich ein sogenanntes recall-Schema, das die spezifischen Parameter vor Beginn der Bewegung gemäß den situativen Bedingungen nach bestimmten Regeln auswählt. Ein Vorteil dieser Instanz liegt darin, daß nicht für jede gelernte Bewegung ein efferentes bzw. afferentes Modell gespeichert werden muß. (1982/S.72/73)

Die Schema-Theorie nach SCHMIDT (ebd. 1975) bezieht sich auf Lernprozesse azyklischer Bewegungen von nicht mehr als fünf Sekunden Dauer.

Die Schema-Entwicklung erfolgt dabei auf der Grundlage von Informationen über Planung, Verlauf und Ergebnis der Bewegung aus verschiedenen Feedback-Quellen. Die sensorischen Meldungen über Anfangsbedingungen und Ergebnisse vergangener Versuche werden im recall-Schema zusammengefasst und gespeichert. Eine wiederholte Bewegungsausführung von Elementen einer Klasse hat die Abstraktion der Beziehungen zwischen den eingehenden Informationen zur Folge. Diese Abstraktionen stellen die Schema-Regeln dar.

Sie werden im recall-Schema gespeichert und mit den jeweils aktuellen Informationen (Bedingungen) für die Berechnung der spezifischen Parameter des konkreten Bewegungsvollzug herangezogen.

(recall-Schema = "Wiedergabe"-Schema)

In einer zweiten Gedächtnisstufe, dem recognition-Schema, bildet sich eine Verbindung von Informationen über die Handlungsbedingungen sowie über Ergebnisse vergangener Versuche mit erhaltenen sensorischen Konsequenzen. Daraus lassen sich wiederum zu erwartende Sollwerte antizipieren. (recognition-Schema = "Wiedererkenn"-Schema)

Die beiden Instanzen sind im Vergleich mit dem Handlungsakzeptor, der von den Efferenzen abhängig ist, und der perceptual-trace, die unabhängig vom Programm (memory-trace) die Sollwerte aus gespeicherten Erfahrungen bestimmt, als "semidependent" zu bezeichnen.

Die Leistungsfähigkeit der beiden Gedächtnisstufen steigt durch spezielle Bewegungserfahrungen und Variationen innerhalb einer Bewegungsklasse. (1982/S.73-75)

Bei ausreichend ausgebildeten recall- und recognition-Schemata ist zur Festlegung der energetischen Werte eine Analyse der Ausgangssituation von Bedeutung. Durch das *Errechnen* dieser Werte sind Bewegungen möglich, die zuvor niemals realisiert wurden.

Modifikationen während der Bewegungsausführung sind wegen der Dauer einer Feedback-Schleife von etwa 200 ms bei kürzeren Bewegungen nicht möglich. In diesem Falle besteht eine alleinige Kontrolle des recall-Schemas.

Andernfalls kooperieren beide Instanzen, indem das recognition-Schema die durch Sollwert/Istwert-Vergleich eventuell festgestellte Differenz an das recall-Schema meldet. Hier werden daraufhin die Parameter oder sogar der Bewegungstyp entsprechend verändert. Diese Kontrolle erfolgt sukzessiv. (1982/S.75)

Wie auch aus der Darstellung der SCHMIDT'schen Theorie zu erkennen ist, wurde mit den Schema-Theorien der Versuch unternommen, die Elemente der open- und closed-loop-Modelle zu vereinen. (1982/S.55)

Da jedoch die empirische Absicherung nur unzureichend gelungen ist, muß auch die Schema-Theorie nach SCHMIDT als hypothetisch angesehen werden. Als Vorteile sind die Plausibilität einer Reihe von Grundannahmen und Vorhersagen, der größere Gültigkeitsbereich und die Erklärungsmöglichkeiten bezüglich des motorischen Lernens zu nennen. (1982/S.77)

Unter Berücksichtigung der in den jeweiligen Experimenten verwendeten Bewegungsformen wird eine Einordnung der Theorien möglich.

Open-loop-Theorien bieten demnach Erklärungen für einfache Bewegungen von kurzer Dauer (Zeitdruck).

Closed-loop-Theorien sind demgegenüber eher für einfache Präzisionsbewegungen (ohne Zeitdruck) als Erklärungsmodell geeignet. (1982/S.78)

Der Zeitfaktor hat also eine entscheidende Bedeutung bei der Einordnung koordinativer Leistungen. Schnelle bzw. langsame Ausführungen gleichartiger Bewegungen unterliegen unterschiedlichen Mechanismen. (1982/S.80)

Tabelle 1 zeigt die bei der hier vorgenommenen Unterteilung zugrundegelegten Untersuchungen und die zugehörigen Autoren.

Autoren der Untersuchung	Kriteriumsaufgaben	Bestätigung für		
		open-loop-Theorien	closed-loop-Th. (Adams)	Schema-Theorie (Schmidt)
Wilson 1961	Flügelschläge(Heuschrecke)	X		
Taub/Berman 1968	Beinbew. (Rhesusaffen)	X		
Fentress 1973	Laufbewegung (Mäuse)	X		
Foerster (n.Phillips 1969)	Arm- u. Handbewegungen	X		
Laszlo 1966/1967	Finger-Tapping-Aufgaben	X		
Docherty 1973	Fingerbewegungen	X		
Glencross (n.Keele/Summers 1976)	Ellbogen-/Handgelenkbew.	X		
Trowbridge/Cason 1932	Zeichnen von Linien festgelegter Länge*		X	
Elwell/Grindley 1938			X	
Bilodeau/Bilodeau 1958	Hebel-Positionierungsaufgaben*		X	
Bilodeau-/Schumsky 1959			X	
Boulter 1963/1964	Zeichnen von Linien festgelegter Länge*		X	
Weinberg e.a. 1964			X	
Bilodeau/Jones 1970	Hebel-Positionierungsaufg.*		X	
Schmidt/White 1972	Schnelle Zielbewegungen**		X	X
Schmidt/Wrisberg 1973			X	X
Newell/Chew 1974			X	X
Shea (n.Schmidt 1975)				X
Schmidt/Christenson/Rogers 1975				X
Wallace/McGhee 1979			X	X
Kelso 1978		Verschieben von Scheiben auf festdefinierten Strecken*		X
Williams/Rodney 1978				X
Husak/Reeve 1979				X
Moxley 1979	Zielwerfen m. Federball*			

* Präzisionsaufgaben ohne Zeitdruck

** Präzisionsaufgaben mit Zeitdruck

Tab.1:

Autoren, durchgeführte Versuche und daraus folgende Bestätigung der Theorien.

Zwecks Absicherung der Theorien wird in den **Lokalisationstheorien** der Versuch unternommen, den im jeweiligen Modell vorherrschenden Mechanismen neurophysiologische Korrelate zuzuordnen. (1982/S.80)

Zur besseren Übersicht ist in Abbildung 15 das menschliche Gehirn in der Lateralansicht gezeigt. Folgende Bereiche sind nach KAHLE (ebd. 1984) zu erkennen: Kleinhirn (1), Hirnstamm (2), Sulcus lateralis (4), Frontalpol (5), Okzipitalpol (6), Lobus frontalis (7), Sulcus centralis (8), Lobus parietalis (9), Lobus occipitalis (10), Lobus temporalis (11), Gyrus praecentralis (12) und Gyrus postcentralis (13).

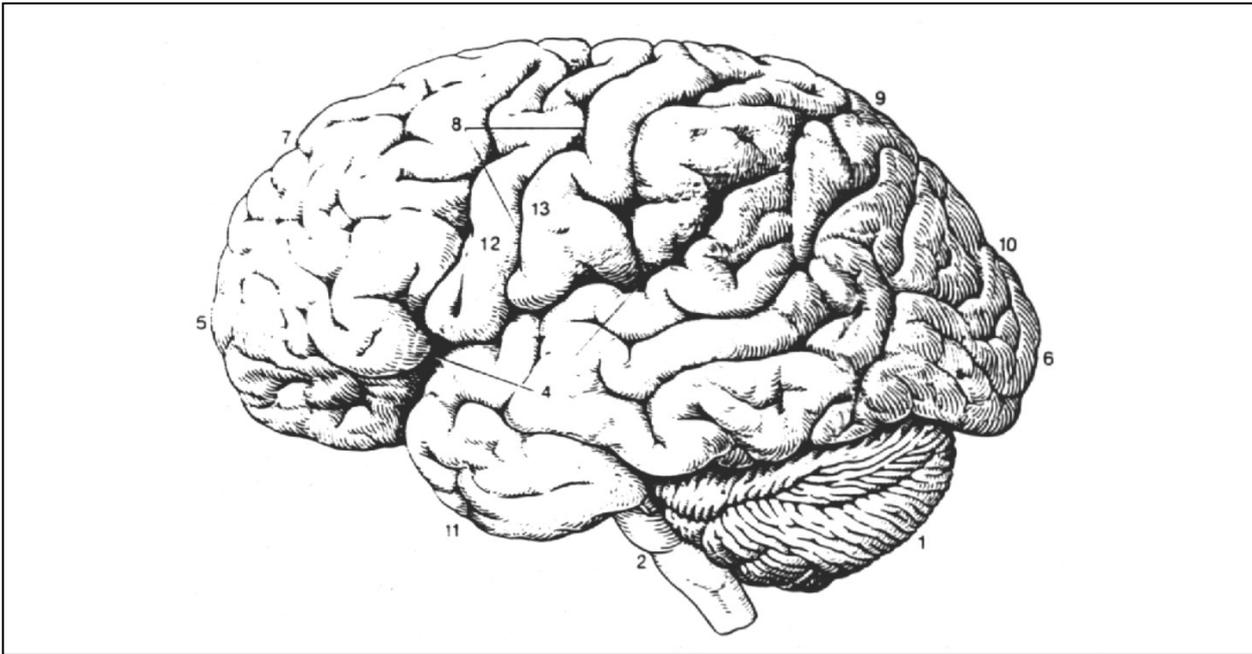


Abb.15: Gehirn (Lateralansicht).

LURIA (1970)	HENATSCH (1976)
<p data-bbox="130 1211 496 1285">Kortikaler Kern des motorischen Analysators</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="405 1144 711 1178">Postzentrales Gebiet <li data-bbox="405 1397 703 1431">Präzentrales Gebiet <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="635 1323 975 1357">Motorische Rindenzone <li data-bbox="683 1469 975 1503">Prämotorische Zone <li data-bbox="643 1541 975 1574">Okulomotorisches Feld <li data-bbox="389 1653 727 1686">Okzipito-parietale Zone <li data-bbox="368 1839 746 1872">Präfrontale Rindengebiete <p data-bbox="130 1727 496 1800">Kortikale Abschnitte des motorischen Analysators</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1059 1144 1366 1178">Somatosensible Area <li data-bbox="1091 1249 1366 1323">Primär-motorischer Kortex <li data-bbox="1002 1361 1366 1435">Sekundäres (senso-)motorisches Feld <li data-bbox="1123 1473 1366 1547">Supplementäres motorisches Feld <li data-bbox="1075 1619 1366 1653">Frontales Augenfeld

Tab.2: An der Koordination beteiligte Felder des Großhirns

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Felder des ZNS, die bei der Koordination von Bewegungen einbezogen werden.

Dabei gelten folgende Zuordnungen:

- Postzentrales Gebiet - Teilsystem der afferent-reafferenten Signalisation.
- Präzentrales Gebiet - Teilsystem der sequentiellen Organisation von Einzelgliedern des motorischen Verhaltens.
- Parieto-okzipitale Zone - Teilsystem der räumlichen Orientierung von Bewegungen.
- Präfrontalregion - Teilsystem der Eingliederung von Bewegungen in übergeordnete Aktionsprogramme. (1982/S.83)

Die motorischen Rindengebiete haben dabei nicht wie früher angenommen die Aufgabe des eigentlichen Initiators, sondern sind vielmehr als "Ausgangskanal" für efferente Signale anzusehen. (1982/S.81)

Tabelle 3 zeigt die Entsprechungen zu den Koordinationstheorien.

Modell des motorischen Verhaltens	Zentrales System der Bewegungskoordination	Kortikale Lokalisation
Open-loop-Modelle	System der sequentiellen Organisation von Einzelgliedern des mot. Verhaltens	Prämotorische Zonen (Teil der präzentralen Zonen)
Closed-loop-Modelle	System der afferent-reafferenten Signalisation	Postzentrale Zonen
Theorie von RUSSEL (Open-loop-Theorie)	System der räumlichen Orientierung von Bewegungen	Parieto-okzipitale Zonen

Tab.3: Neurophysiologische Korrelate der verschiedenen Modelle.

Die Präfrontalregion ist hier nicht genannt, da ihre Funktion in allen neueren Modellen berücksichtigt wird. Neben den oben zugeordneten Vorgängen laufen in dieser Region möglicherweise auch Prozesse der Hemmung inadäquater Störgrößen und des Programmwechsels ab. (1982/S.83/84)

Durch Beobachtung von Patienten mit lokalen Läsionen der entsprechenden Gebiete des Gehirns lässt sich anhand der durchgeführten Kriteriums-aufgaben ebenfalls eine Unterteilung in schnelle und Präzisionsbewegungen vornehmen. (1982/S.88)

Den kortikalen Bereichen und ihrer Funktion entsprechend lassen sich demnach folgendermaßen **koordinative Fähigkeiten** definieren:

Zentral-anatomisches Korrelat (Lokalisation)	Allgemeines motorisches Konstrukt	Zugeordnete Verhaltenstheorie
Prämotorische Zonen	Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck	Open-loop-Theorien
Postzentrale Zonen	Fähigkeit zur genauen Kontrolle von Bewegungen	Closed-loop-Theorien
Präfrontalregion	Anpassungs- und Umstellungsfähigkeit	
Parieto-okzipitale Zonen	Räumliches Orientierungsvermögen	Theorie von RUSSEL (open-loop-Theorie)

Tab.4:
Koordinative Fähigkeiten entsprechend den neurophysiologischen Korrelaten.

Diese Ergebnisse bestätigen die bereits aus der statistischen Auswertung gewonnene Unterteilung in Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck und Fähigkeit zur genauen Kontrolle von Bewegungen.

Die Fähigkeit zur motorischen Anpassung und Umstellung hat kortikal eine unabhängige Repräsentation. Daher ist der Variabilitätsgrad der externen Bedingungen als weiteres Kriterium zur Einordnung koordinativer Fähigkeiten anzusehen. Man unterscheidet:

- Geschlossene stereotype Bewegungsaufgabe (closed-skills) und
- offene situative Bewegungsaufgaben (open-skills).

Bei einer Zuordnung dieser Differenzierung zur zweiten Ebene des hierarchischen Modells erhält man also vier koordinative Fähigkeiten:

- Fähigkeit zur schnellen motorischen Steuerung,
- Fähigkeit zur schnellen motorischen Anpassung und Umstellung,
- Fähigkeit zur präzisen motorischen Steuerung,
- Fähigkeit zur präzisen motorischen Anpassung und Umstellung.

	Zeitfaktor	Situationsfaktor
Fähigkeit zur schnellen motorischen Steuerung	schnell	konstant
Fähigkeit zur schnellen motorischen Anpassung und Umstellung	schnell	variabel
Fähigkeit zur präzisen motorischen Steuerung	langsam	konstant
Fähigkeit zur präzisen motorischen Anpassung und Umstellung	langsam	variabel

Tab.5:
Mögliche Differenzierung koordinativer Fähigkeiten auf der zweiten hierarchischen Ebene.

Bei hierarchisch noch tiefer liegenden Leistungsfaktoren wie der Orientierung im Raum sind entsprechend vier Ausprägungsformen zu unterscheiden. (1982/S.88-90)

2.5.4 Hierarchisches Modell

Abbildung 16 gibt eine Übersicht der Entsprechungsebenen sowie der gefundenen Differenzierung koordinativer Fähigkeiten (s. Ebene 2). Die Ebenen 3a und 3b stellen eine zusätzliche Zuordnung zu motorischen Tests bzw. Sportdisziplinen dar.

Im Folgenden sind die Manifestationsformen der allgemeinen motorischen Kategorien der ersten Ebene aufgezeigt.

Die **Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck** zeigt sich in der schnellen und flüssigen Ausführung oder Kombination von Bewegungstätigkeiten in nicht-standardisierter, offener Leistungsumgebung (z.B. Sportspiele), in nicht-standardisierter, geschlossener Leistungsumgebung (z.B. Eisschnellauf), sowie in standardisierten Hindernisläufen.

Die **Fähigkeit zur genauen Kontrolle von Bewegungen** tritt bei der präzisen Ausführung oder Kombination von Bewegungstätigkeiten in nicht-standardisierter, offener Leistungsumgebung (z.B. Wasserski, Fußballtennis), in nicht-standardisierter, geschlossener Leistungsumgebung (z.B. Wasserspringen, Bahnengolf), sowie in standardisierten statischen Balanciertests und Zielgenauigkeitsaufgaben in Erscheinung. (1983/S.75/76)

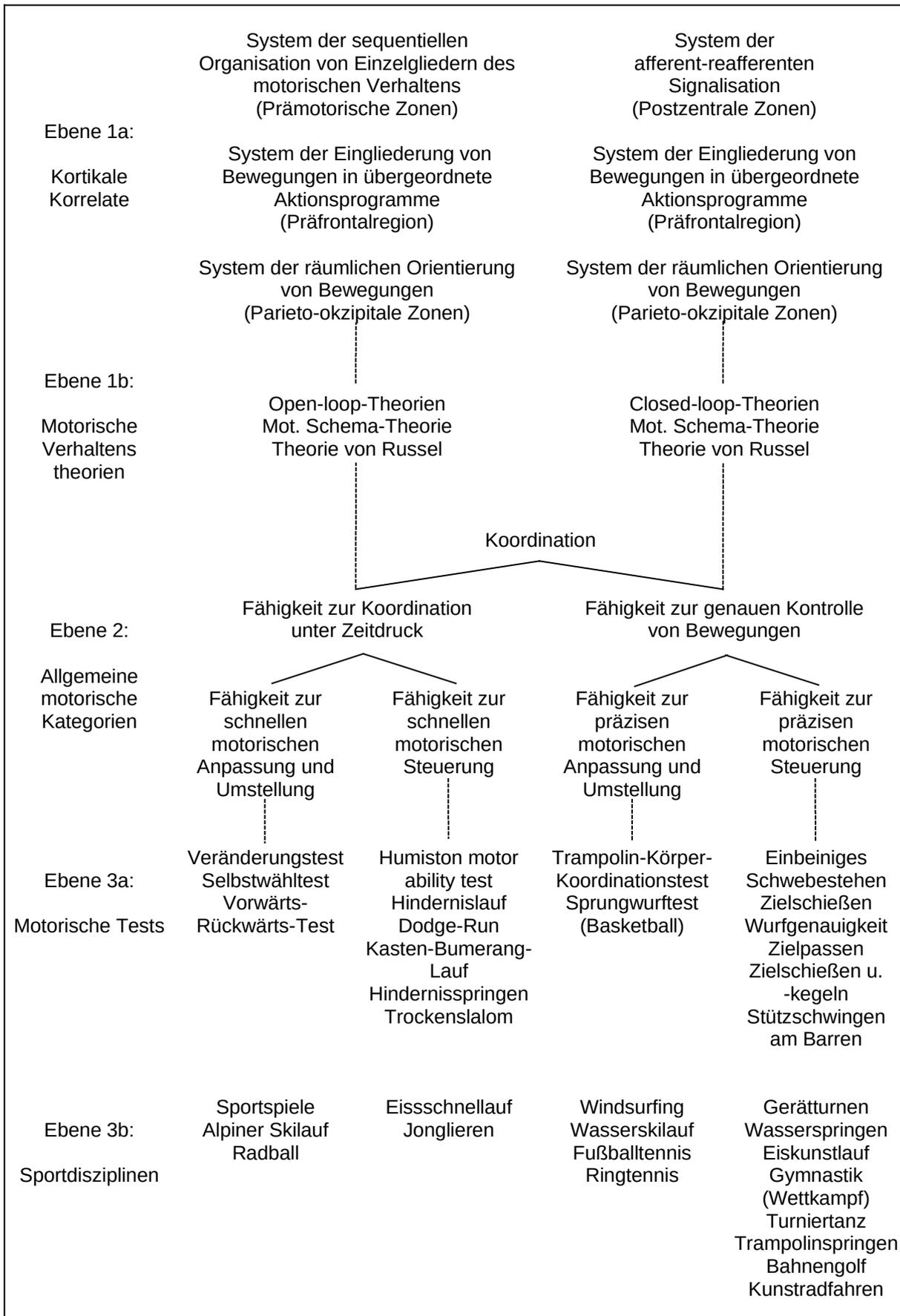


Abb.16: Hierarchisches Modell.

Zur besseren Übersicht und Einordnung der Erkenntnisse sei abschließend noch auf die von ROTH/WILLIMCZIK vorgenommene Unterscheidung verschiedener, unter dem jeweiligen Gesichtspunkt berechtigter Sichtweisen in der Bewegungslehre hingewiesen. Es sind dies

- die morphologische Betrachtungsweise,
- die biomechanische Betrachtungsweise,
- die empirisch-analytische Betrachtungsweise und
- die funktionalen Betrachtungsweisen.

Die in diesem Kapitel dargestellten Ansichten der verschiedenen Autoren beziehen jeweils unterschiedliche Betrachtungsweisen ein!

Unter morphologischer Betrachtungsweise versteht man die differenzierte Beschreibung von beobachteten Bewegungen ohne quantitative Angaben, wobei auch auf begründete Bewegungsanweisungen und mögliche Fehler Wert gelegt wird. Der Vorteil dieser Betrachtungsweise liegt darin, daß Aspekte Berücksichtigung finden, die bei einer analytischen Vorgehensweise bisher nicht erfasst werden können: z.B.

- die räumlich-zeitliche Struktur,
- die dynamische Struktur,
- der Bewegungsfluß,
- die Bewegungselastizität. (1983/S.18-20)

Die biomechanische Betrachtungsweise liefert hingegen eine differenzierte Bewegungsbeschreibung durch quantitative Angaben zu einzelnen Bewegungsmerkmalen. Diese analytische Vorgehensweise beinhaltet ein genaues Messen von Größen wie

- Längenmerkmalen,
- Winkelmerkmalen,
- Zeitmerkmalen,
- Geschwindigkeitsmerkmalen,
- Beschleunigungsmerkmalen,
- Kraftmerkmalen,
- Impulsmerkmalen. (1983/S.24ff)

Die gemessenen Größen dienen dann als Grundlage für beispielsweise die empirisch-analytische Betrachtungsweise, deren Gegenstand die Beschreibung der körperinternen Funktions- und Steuerungsprozesse durch Fähigkeiten ist. Die empirische Analyse erfolgt dabei durch die sportmotorischen Tests. Den festgestellten (biomechanischen) Merkmalen werden dann Fähigkeiten zugeordnet. Die induktiven Erkenntnisse sollen daraufhin deduktiv abgesichert werden. Andererseits muß sich eine bestehende Theorie wiederum in der Praxis bestätigen. (1983/S.53-55)

Das gezeigte hierarchische Modell ist der empirisch-analytischen Betrachtungsweise zuzuordnen.

Die funktionalen Betrachtungsweisen basieren auf der Ansicht, daß jede Bewegung eine Funktion für den Bewegungsausführenden im Sinne eines Bewirkens, Ausdrückens oder Darstellens hat. Ein Nichtbeachten dieser Sinnbezüge würde das Wesentliche der menschlichen Aktivität unberücksichtigt lassen. (1983/S.14)

3. Neuere Erkenntnisse

3.1 Zur Ontogenese

3.1.1 Entwicklung koordinativer Fähigkeiten

ROTH unterteilt die Betrachtungsweisen der Bewegungskoordination in "prozessorientierte" und "fähigkeitsorientierte" Theorien. (1994/S.191)

Unter den "prozessorientierten" Ansätze finden sich beispielsweise die Neurophysiologie und die dynamischen Systemtheorien. Sie versuchen das "Funktionieren" bzw. die Kontrolle gekonnter Bewegungshandlungen zu erklären und stellen damit die Grundlage für die *Lerntheorien* dar. (ROTH 1994/S.191/192)

Unter Punkt 2.5.4 finden sich die empirisch-analytische und die morphologische Betrachtungsweise als Beispiel "fähigkeitsorientierter" Ansätze, welche manifeste Bewegungsleistungen über latente Konstrukte zu erklären versuchen. Übereinstimmend werden hier die koordinativen Fähigkeiten als verfestigte überdauernde Leistungsvoraussetzungen für eine Vielzahl verschiedener Bewegungsformen angesehen. Außerdem besteht Einigkeit über

- die vorrangige Bedeutung der koordinativen Fähigkeiten für die Schnelligkeit und Genauigkeit der Aneignung und im weiteren Verlauf für die Konstanz motorischer Fertigkeiten,
- die Mitbestimmung der koordinativen Fähigkeiten über den Grad der Ausnutzung konditioneller Potenzen,
- den Zusammenhang der koordinativen Fähigkeiten mit der Qualität und Disponibilität des sensorischen Systems,
- die Abhängigkeit der koordinativen Fähigkeiten von entsprechenden Anlagen, jedoch auch die sehr gute Trainierbarkeit,
- die Beeinflussung der koordinativen Fähigkeiten durch habituelle und aktuelle motivationale Antriebspotenzen und kognitive Funktionspotenzen.

Weniger übereinstimmend sind dagegen die Ansichten über die Differenzierung, Strukturierung und Systematisierung koordinativer Fähigkeiten.

Die Ergebnisse fähigkeitsorientierter Ansätze werden im allgemeinen als Grundlage *ontogenetischer Untersuchungen* herangezogen. (ROTH 1994/S.192/193)

Die bei der Ontogenese der koordinativen Leistungsfähigkeit wirkenden, wesentlichen Faktoren und deren Wechselwirkungen sollen im folgenden dargestellt werden.

Unter den **Aufgabenfaktoren** fasst ROTH den Motorikanteil im Handlungsvollzug und den Geschwindigkeits- vs. Genauigkeitsbezug zusammen.

Der Motorikanteil ist als die Schwierigkeit bzw. die Komplexität der im Testverfahren geforderten motorischen Lösungshandlung zu verstehen. Diesbezüglich zeigen Untersuchungen, daß

- mit steigendem Motorikanteil die Phase des maximalen Leistungsvermögens altersmäßig früher erreicht wird.
- mit steigendem Motorikanteil die Phase des Leistungsabfalls altersmäßig früher erreicht wird.
- mit steigendem Motorikanteil die Dauer und das Ausmaß puberal bedingter Leistungseinbußen zunehmen. (ROTH 1994/S.198-204)

In Wechselwirkung mit dem Faktor Motorikanteil steht der Geschwindigkeits- vs. Genauigkeitsbezug. Hier können folgende Ergebnisse zusammengefasst werden:

- Bei niedrigem Motorikanteil sind die altersbedingten Leistungseinbußen für Handlungen unter Zeitdruck geringer als für Präzisionsbewegungen.
- Bei hohem Motorikanteil sind die altersbedingten Leistungseinbußen für Präzisionsleistungen geringer als für Schnelligkeitsleistungen. (ROTH 1994/S.204-206)

Unter **Personenfaktoren** versteht man geschlechtsspezifische Bezüge, sowie Einflüsse von motorischen, kognitiven und psychischen Leistungsmerkmalen auf die Koordination.

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede sind bis zum 12./13. Lebensjahr als unwesentlich einzuschätzen. Für die nachfolgenden Altersbereiche ergibt sich:

- Mit steigendem Motorikanteil werden die Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Versuchspersonen größer.
- Bei Aufgaben unter Zeitdruck sind die Leistungsvorteile der männlichen Versuchspersonen größer als bei Präzisionsaufgaben. (ROTH 1994/S.206-209)

Die Koordinationsleistung steht vor allem im Kindes- und Jugendalter in engem Zusammenhang mit gesamtmotorischen Leistungsmerkmalen, also Fähigkeiten und Fertigkeiten. (ROTH 1994/S.209)

Der Einfluß kognitiver Merkmale (Intelligenzvariable) auf die Koordination ist im Falle schwachbegabter Kinder und bei cerebralen Dysfunktionen von Bedeutung. (ROTH 1994/S.209/210)

In allen Altersbereichen lassen sich Zusammenhänge zwischen koordinativen und psychischen Verhaltensmerkmalen feststellen. (ROTH 1994/S.210/211)

Die **Umweltfaktoren** beinhalten sportmotorische Interventionen (Training) und Einflüsse der sozialen und materialen Umwelt auf die Ontogenese der koordinativen Leistungsfähigkeit.

Zur Wechselwirkung von Training mit Aufgaben- bzw. Personenfaktoren lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Mit steigendem Motorikanteil wird der Einfluß des Trainings auf das koordinative Fähigkeitsniveau größer. Der Effekt ist bei Schnelligkeitsleistungen höher als bei Präzisionsleistungen.
- Sportschwache Schüler haben einen größeren Trainingseffekt aufzuweisen als Kinder und Schüler in unausgelesenen Populationen.
- Weibliche Versuchspersonen erzielen bei ganzkörperlichen Schnelligkeitsleistungen, männliche Probanden bei feinmotorischen Präzisionsaufgaben die größte Trainingswirksamkeit. (ROTH 1994/S.211-214)

Des weiteren konnte ein Zusammenhang zwischen großmotorischen Koordinationsleistungen von Kindern und den Umweltfaktoren "Eigenheim", "große Wohnfläche", "niedrige Stockwerkhöhe", "Gebrauch von Sport- und Spielgeräten" und "Erreichbarkeit von Spielflächen" nachgewiesen werden. (ROTH 1994/S.214-216)

Zusammenfassend läßt sich ein **genereller Entwicklungsverlauf** der koordinativen Fähigkeiten durch ein frühzeitiges, rasches Ansteigen, ein schnelles Erreichen des Endniveaus, eine Phase des Erhalts und ein zunächst allmählicher, dann zunehmender Rückgang ab der vierten/fünften Lebensdekade darstellen.

Während der Pubeszenz wird der Leistungsaufbau gebremst oder sogar unterbrochen.

Die zugrundeliegenden individuellen Verläufe werden durch die spezifischen Aufgaben-, Personen- und Umweltfaktoren beeinflusst und sind in ihrer Komplexität, die eine empirische Überprüfung nicht in allen Aspekten berücksichtigen kann, schwer zu erfassen. Vor allem bezüglich der Interaktionen lassen die empirischen Überprüfungen bisher zu wünschen übrig.

In diesem Sinne sind die dargestellten Ergebnisse als Auswahl aus einem Konglomerat verschiedenster Einflußgrößen zu verstehen.
(ROTH 1994/S.216)

3.1.2 Einfluß psychischer Komponenten

Die Autoren ILG und SIKORA versuchen anhand von Kleingruppen- und Einzelfallanalysen mit Daten der Greifswalder Längsschnittstudie die Beziehungen von psychischer Stabilität, Intelligenz, Sozialität, individuell-reflexiver Motive, vital-biotischer Motive und konzentrativer Aufmerksamkeit zu den koordinativ-motorischen Komponenten Gleichgewichts-, Differenzierungs-, Orientierungs- und Wahrnehmungsfähigkeit zu ergründen.

Speziell sollen folgende Hypothesen bestätigt werden:

- Die ausgewählten psychischen Komponenten haben eine Vermittlungsfunktion zwischen den motorischen Anforderungen und der Qualität der Handlungsregulation.
- Eine Differenzierung der Vermittlungsfunktionen nach den handlungs- bzw. tätigkeitsregulatorischen Ebenen der psychischen Komponenten führt zu der Annahme unterschiedlich starker Kopplung an die koordinativ-motorischen Komponenten.
- Es ist mit der Möglichkeit einer Kompensation bzw. Potenzierung koordinativ-motorischer Fähigkeiten durch unterschiedliche Kombination der psychischen Komponenten zu rechnen.
(ILG/SIKORA 1994/S. 97)

Die Untersuchung zweier Extremgruppen (pos./neg.), die nach dem Niveau des anschaulich-schlußfolgernden Denkens bei der ersten Erhebung ausgewählt wurden, ergibt erstaunlicherweise eine entsprechende Differenz beider Gruppen gegenüber der Gesamtgruppe *bei allen folgenden Erhebungen* (Abb.17).

Bei einer komplexeren Erfassung der Intelligenz und dem Niveau der konzentrativen Aufmerksamkeit ist eine ganz ähnliche Tendenz zu beobachten.

Dies legt den Schluß nahe, daß enge Beziehungen zwischen denjenigen psychischen Komponenten bestehen, die an neurophysiologische Voraussetzungen gebunden sind, welche von der Nervenleitfähigkeit abhängen und die Steuerung von Prozessen betreffen. Letzteres bezieht sich sowohl auf Prozesse der Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie Struktur- und Differenzierungsprozesse der Sinnesorgane.

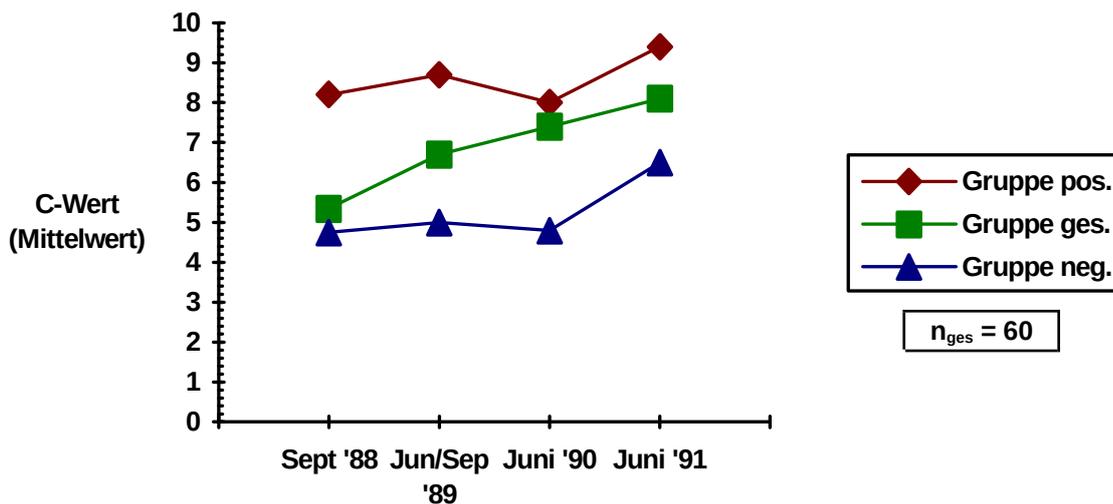


Abb.17: Entwicklung des anschaulich-schlußfolgernden Denkens bei Schülern der Klassen 1-4 nach dem Raven-Test (C-Wert).

Ein entsprechender Zusammenhang läßt sich auch für die motivationalen Komponenten erkennen:

Die bei beiden Extremgruppen fast identische vital-biotische Motivation liegt über dem Niveau der Gesamtheit der Schüler. Daraus läßt sich gegenüber den oben genannten, kognitiven Prozessen auf eine andersartige, antriebsregulatorische Ebene schließen. Auf dieser Ebene wirken die bewußten Motivationen und der in diesem Alter noch ausgeprägte, biotisch angelegte Bewegungsdrang.

Ein Vergleich der Extremgruppen hinsichtlich des Zusammenhangs von Intelligenz, konzentrativer Aufmerksamkeit sowie psychischer Stabilität und den koordinativ-motorischen Komponenten Differenzierungs-, Orientierungs- sowie Wahrnehmungsfähigkeit läßt den Schluß zu, daß hier qualitative Bindungen bestehen.

Des weiteren kann man aus dem Vergleich der Gruppen eine ebenfalls qualitative Bindung zwischen der vital-biotischen Motivation und der Gleichgewichtsfähigkeit ableiten.

Interpretiert man solche Bindungen als Vermittlungsfunktion der psychischen Komponenten zwischen den gestellten Anforderungen und der Handlungsregulation, so finden damit die erste und zweite Hypothese eine Bestätigung.

Die unterschiedlich starke Kopplung psychischer Faktoren an die koordinativ-motorischen Komponenten läßt sich zudem neben Kompensations- und Potenzierungseffekten an folgendem Vergleich zweier Einzelfallstudien erkennen:

Zwei Schüler mit etwa gleichen motorischen Leistungen bezüglich der Gleichgewichtsfähigkeit, etwa gleichen motivationalen Voraussetzungen und ähnlicher psychischer Stabilität unterscheiden sich stark in ihren kognitiven und sozialen Komponenten.

Während bei dem einen Schüler die koordinative Komplexleistung aus der hohen Ausprägung der erfassten kognitiven und sozialen Komponenten resultiert, kompensiert der andere Schüler dies mit motivationalen Antriebsqualitäten.

Die Tendenzen bei der Orientierungs- und besonders bei der Differenzierungs- und Wahrnehmungsfähigkeit lassen sich als Potenzierungseffekte interpretieren. (ILG/SIKORA 1994/S.98-101)

Erh.	Vital- biotische Motivation (Pkte)	Indiv. reflex. Motivation (Pkte)	EFB ₁ kognitiv C-Wert	Raven- Test C-Wert	Mathe- Note	EFB ₃ sozial C-Wert	Wahrn. -fäh. (Pkte)	Orient. fäh. (ms)	Diff. fäh. Index	Gleich- gew. fäh. (10 ⁻¹ s)
Schüler „Raven-Test C-Wert:10“ (Durchschnittswert)										
1	3	14	7	10	1	9	3	279	491	180
2	4	14	9	10	1	-	4	186	570	169
4	3	14	7	9	2	7	5	210	240	162
5	3	12	6	10	2	6	4	-	-	-
6	4	12	9	8	1	7	6	135	440	99
Schüler „Raven-Test C-Wert:06“ (Durchschnittswert)										
1	4	13	2	6	2	2	2	250	230	196
2	4	12	3	5	2	-	2	207	90	186
4	3	12	4	6	3	2	5	179	210	190
5	4	11	3	8	3	4	7	161	180	148
6	3	12	4	5	3	4	8	176	230	88
	Motivationale Komponenten		Kognitiv-soziale Komponenten			Koordinativ-motorische Komponenten				

EFB = Erfassungsbogen

Tab.6: Vergleich zweier Schüler.

3.1.3 Einfluß kognitiver Komponenten

Eine von NÜSKE durchgeführte Untersuchung gilt dem Einfluß der kognitiven Komponenten Antizipation und Entscheidung auf die Koordination. Die Abbildungen 18 und 19 ermöglichen einen Vergleich der Entwicklung von Antizipation und Entscheidung mit dem Verlauf ausgewählter, koordinativer Fähigkeiten.

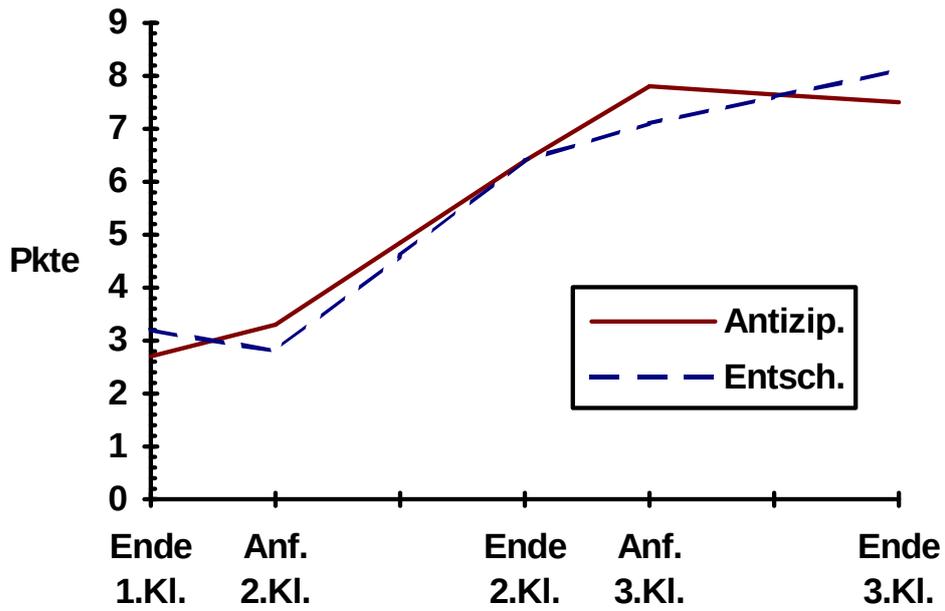


Abb.18: Entwicklung von Antizipation und Entscheidung.

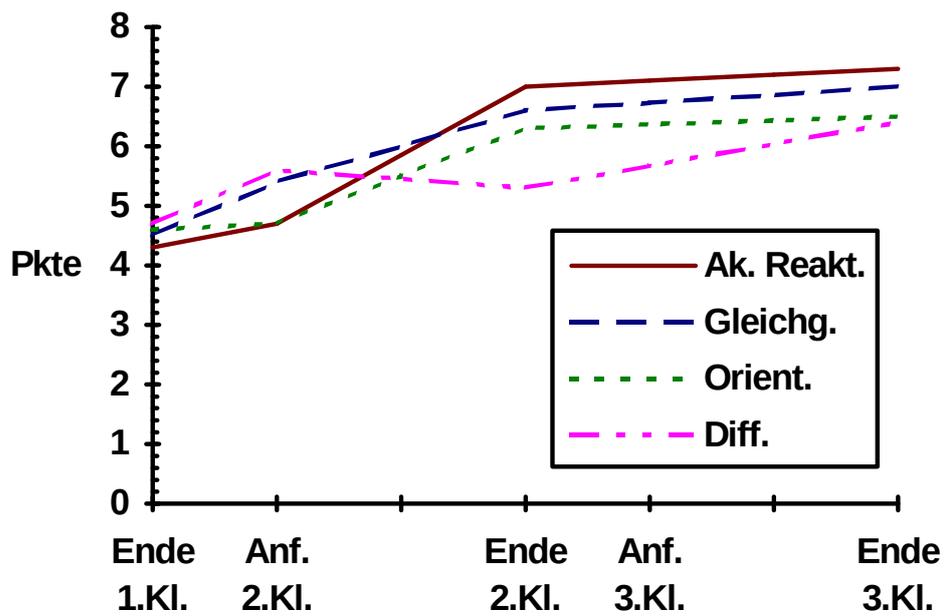


Abb.19: Entwicklung koordinativer Fähigkeiten.

Die Entwicklungsdynamik der kognitiven Komponenten ist offenbar im untersuchten Altersbereich (1.-3. Klasse) besonders groß. Da die Ausdifferenzierung koordinativer Leistungsvoraussetzungen in diesem Alter nach u. a. HIRTZ (ebd. 1985) als besonders stark einzuschätzen ist, liegt der Schluß nahe, daß motorische Anforderungen verstärkt unter Einbeziehung kognitiver Komponenten bewältigt werden. Eine entsprechende Einflußnahme ist in dieser Phase am effektivsten.

(NÜSKE 1994/S.119-121)

Antizipation und Entscheidung stellen komplexe Gebilde dar, deren Teilaspekte durchaus unterschiedliche Verläufe aufweisen können. Teilaspekte einer kognitiven Komponente sind unter Umständen bereits verfestigt, während andere Dispositionen der gleichen Komponente erst ausgeprägt werden. HIRTZ (ebd. 1985) beobachtete selbiges Phänomen bei der früher einsetzenden Entwicklung der räumlichen gegenüber der zeitlichen Differenzierung. (NÜSKE 1994/S.121/122)

Im Gegensatz zu psychischen und koordinativen Entwicklungsverläufen, die jeweils Ähnlichkeiten aufweisen, weichen bei kognitiven Parametern die *individuellen* Verläufe teilweise stark von den Mittelwertsverläufen ab. Offenbar hat die "Tätigkeit" einen Einfluß auf die Entwicklungsdynamik kognitiver Komponenten. Abbildung 20 zeigt die Entwicklung der motorischen Antizipation von sportlich unterschiedlich aktiven Schülern bzw. Schülerinnen.

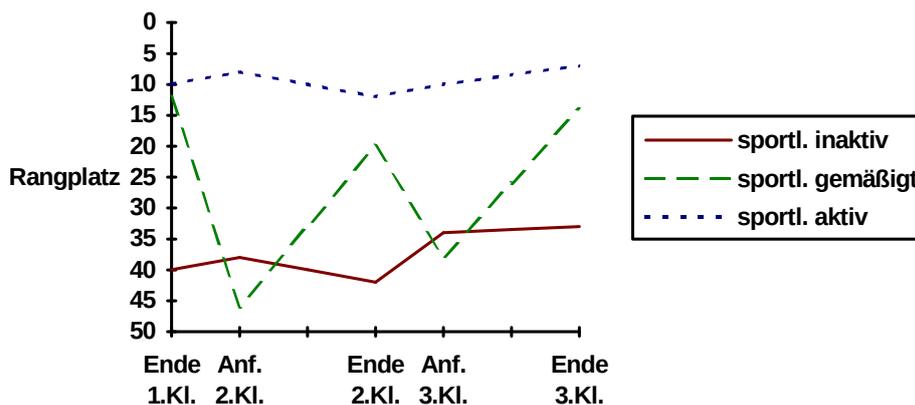


Abb.20: Entwicklung motorischer Antizipation bei sportlich unterschiedlich aktiven Schülern.

Aus diesen Betrachtungen wird auf den wesentlichen Einfluß sportlicher Tätigkeit auf das Niveau der motorischen Antizipation und Entscheidung geschlossen. Ein derart deutlicher Zusammenhang zwischen biotischen Parametern (biologische Reife; Geschlechtsspezifität) und den kognitiven Komponenten konnte nicht nachgewiesen werden.

(NÜSKE 1994/S.122-124)

3.1.4 Koordinative Fähigkeiten im Seniorenalter

Die Ergebnisse der Voruntersuchung von SCHIELKE/VILKNER sollen die Möglichkeit zum weitestgehenden Erhalt koordinativer Fähigkeiten im Alter belegen.

Der altersbedingte Rückgang der Koordinationsfähigkeit vollzieht sich prinzipiell kontinuierlich, d.h. ohne deutliche Niveaustürze.
(SCHIELKE/VILKNER 1994/S.171)

Eine detaillierte Betrachtung zeigt, daß beispielsweise bei der einfachen Reaktion und der optisch-räumlichen Wahrnehmung das hohe Niveau bis zum 50.Lebensjahr erhalten bleibt und darüber hinaus vereinzelt noch im 70.Lebensjahr Spitzenwerte erreicht werden. Funktionelle Voraussetzungen für koordinative Leistungen bestehen demnach bis ins hohe Alter.

Bezüglich komplexer Koordinationsleistungen beobachtet man jedoch erhebliche Rückbildungen, die aber von der Ausnutzung des genetisch vorgegebenen Potentials im Verlauf des Lebens abhängen und auf die methodischen und inhaltlichen Reserven in diesem Bereich weisen.
(SCHIELKE/VILKNER 1994/S.172)

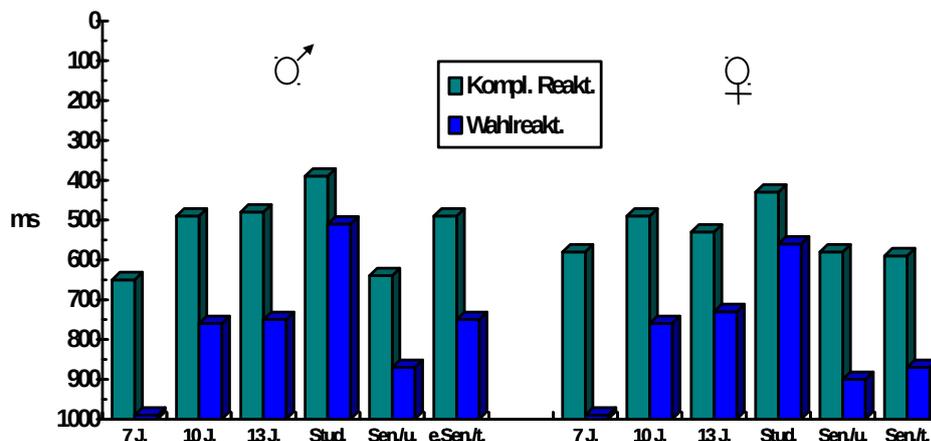


Abb.21: Komplexe Reaktion und Wahlreaktion im Vergleich. (u.=untrainiert/t.=trainiert)

Im Diagramm erkennt man das niedrige Niveau der komplexen Reaktions- und Wahlreaktionsfähigkeit der Senioren und Seniorinnen.
(SCHIELKE/VILKNER 1994/S.173)

Die Werte eines 74jährigen Mannes (Säule e.Sen./t.) sind als Indiz für die soziale Bedingtheit der Ergebnisse zu werten. Herr. B. hat seit seinem 7.Lebensjahr ununterbrochen verschiedentlich Sport getrieben.

Interessant ist auch die Tatsache, daß die Frauengymnastikgruppe -Säule Sen./t.- kaum besser abschnitt als die nicht-trainierenden Probandinnen. Dies verweist auf die methodischen und inhaltlichen Möglichkeiten, die in der Praxis offenstehen. (SCHIELKE/VILKNER 1994/S.172/173)

Die Untersuchung der Differenzierungsfähigkeit führt zu ähnlichen Schlußfolgerungen. (SCHIELKE/VILKNER 1994/S.174)

An den aufgezeigten Tendenzen ist zu erkennen, daß Niveauverluste nicht auftreten müssen. Vielfältige sportliche Betätigung unter Berücksichtigung aller koordinativer Fähigkeiten sollte die Orientierung älterer Menschen sein, um beispielsweise ihre Handlungsfähigkeit zu erhalten. (SCHIELKE/VILKNER 1994/S.175)

3.2 Prozessorientierte Ansätze

3.2.1 Neurophysiologie

Die neuromotorische Steuerung erfolgt auf der Basis von Grundmechanismen, die jedoch im einzelnen Regelungsvorgang sehr unterschiedlich sein können.

Das okulomotorische System verfügt beispielsweise über kein Feedback von afferenten Muskelspindeln, da auf die äußere Augenmuskulatur keine externen Kräfte wirken. Die Einstellung auf ein visuelles Objekt wird durch die Steuerung aus dem Hirnstamm und dem Kleinhirn unter Verarbeitung optischer und vestibulärer Feedback-Informationen realisiert.

Im Gegensatz dazu unterliegt die Muskulatur der Extremitäten oft unvorhersehbaren Belastungen. Um diesem Umstand gerecht zu werden, nutzt die zentrale Steuerung von Körperhaltung und Bewegung Informationen von kinästhetischen (spinale und supraspinale Afferenzen) und taktilen Rezeptoren, sowie von Außenrezeptoren (Umgebung) zur Modifikation der Regelmechanismen. (NOTH 1993/S.21)

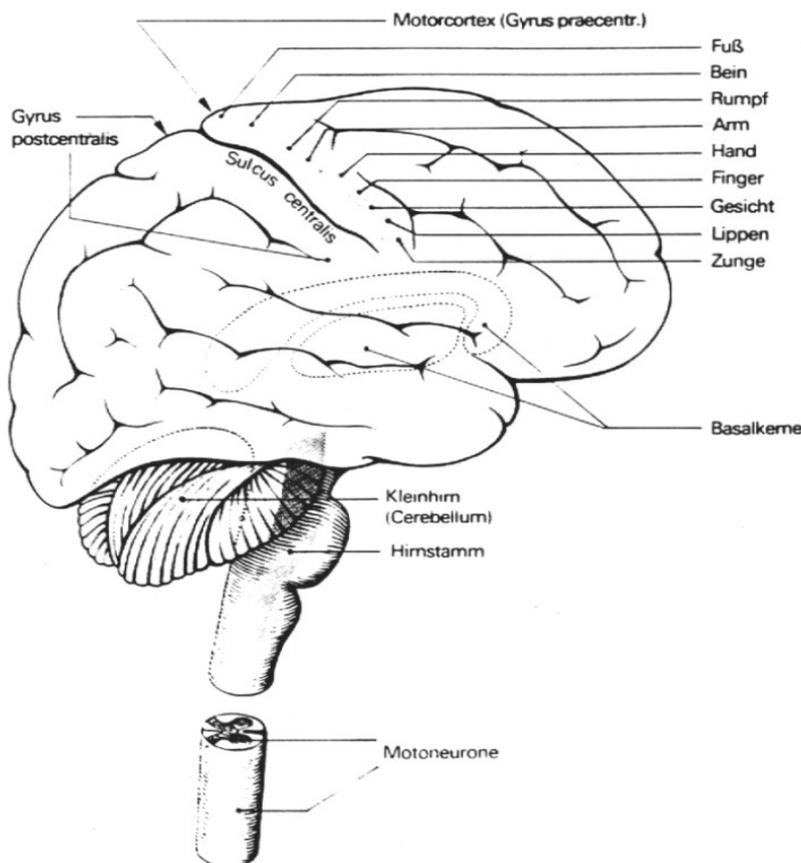


Abb.22: Hierarchischer Aufbau des zentralen motorischen Systems.

Das **zentrale motorische System** weist eine hierarchische Struktur auf. Die Bewegungsplanung findet im prämotorischen Kortex, in supplementären motorischen Arealen und in weiteren assoziierten Hirnrindengebieten statt. Impulse aus diesen Gebieten, dem Kleinhirn und den Basalganglien fließen in den primären motorischen Kortex und hemmen bzw. stimulieren Entladungen aus diesem Bereich, die wiederum die Inter- und Motoneurone des Hirnstamms und des Rückenmarks steuern. Die Weitergabe der Impulse und der Reflexeinflüsse erfolgt über die alpha-Motoneurone der motorischen Vorderhornzellen, deren Nettomembranpotential das Entladungsmuster der motorischen Einheit bestimmt. (NOTH 1993/S.21)

Die **prämotorischen Areale** liegen vor der vorderen Zentralwindung im Stirnhirn und bilden zusammen mit den supplementären Arealen eine wichtige Schalt- und Verarbeitungsstelle für Informationen aus anderen kortikalen Bereichen sowie Afferenzen, die über den Thalamus aus den Basalganglien bzw. dem Kleinhirn eintreffen. Die resultierenden Impulse werden dann an die vordere Zentralwindung und zusätzlich an den Hirnstamm sowie das Rückenmark gemeldet. Letztere gelten als verantwortlich für die Steuerung der Rumpf- und Armmuskulatur.

Die Stirnhirnfelder sind bei der Planung von Bewegungshandlungen, der Kontrolle der Körperhaltung, der visuellen Steuerung zielgerichteter Bewegungen und der schnellen Korrektur aufgrund sensibler Rückinformationen von Bedeutung. Die supplementären Areale sind nach WISE und STRICK (ebd. 1984) wahrscheinlich an der Steuerung spontan motivierter Bewegungsabläufe beteiligt. (NOTH 1993/S.22/23)

Der **primäre motorische Kortex** besteht im wesentlichen aus der vorderen Zentralwindung. Diesem Bereich entstammt der Kortikospinaltrakt, auch Pyramidenbahn genannt, der als efferente Bahn vorwiegend niedrige, aber auch hohe - über 65ms^{-1} - Leitungsgeschwindigkeiten erreicht. Die Nervenzellen des Kortikospinaltraktes stehen in Verbindung mit Motor- bzw. Interneuronen, wobei die distale Muskulatur weitestgehend monosynaptisch und die stammnahe Muskulatur überwiegend polysynaptisch verschaltet ist. Weitere Informationen erhält die Peripherie direkt von den prämotorischen Arealen und dem retikulospinalen System (Abb. 23).

Zur Organisationsform lassen die Untersuchungen von STRICK und PRESTON (ebd 1982) sowie von SATO und TANJI (ebd. 1988) auf die "Denkweise" des Motorkortex in Bewegungen schließen, d.h. daß jeweils synergistisch wirkende Muskelgruppen aktiviert werden. Demnach sind die einzelnen Muskeln im motorischen Kortex mehrfach repräsentiert. (NOTH 1993/S.23)

Im **Kleinhirn** befinden sich mehr als die Hälfte der im Gehirn vorhandenen Nervenzellen, die neuronale Struktur ist vergleichsweise einheitlich. Hier ablaufende Vorgänge betreffen die parallele Prozeßsteuerung und die Informationsspeicherung.

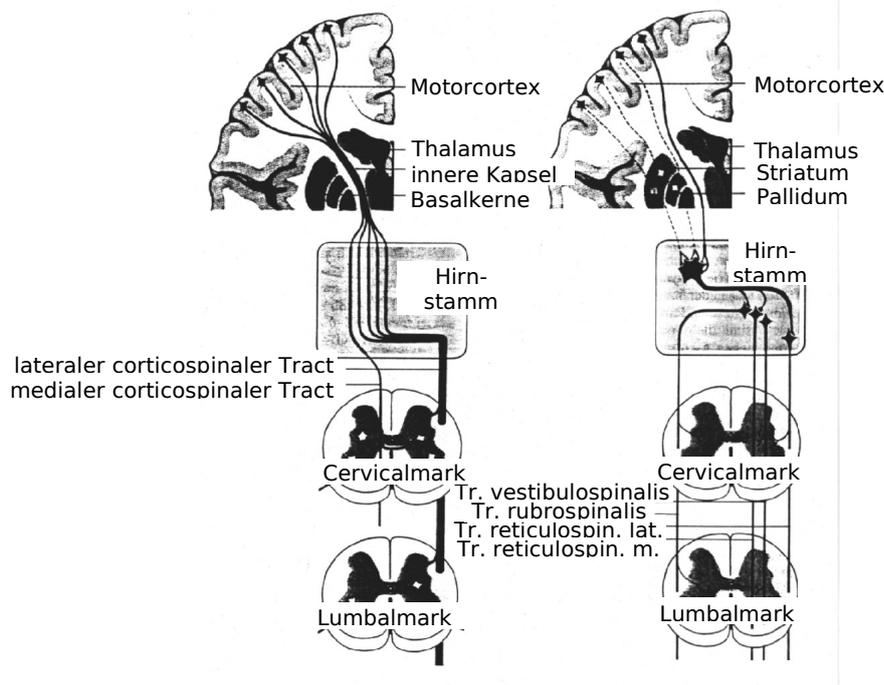


Abb.23: Gehirnstrukturen und efferente Bahnen.

Der Thalamus ist ein Teil des oberhalb des Hirnstamms gelegenen Zwischenhirns.

Zu den Basalkernen zählen u.a. Pallidum (Globus pallidus), Striatum (Putamen, Caudatum) und Substantia nigra.

Der Hirnstamm ist in das Mittelhirn (Mesencephalon), das Brückenhirn (Pons) und das verlängerte Mark (Medulla oblongata) unterteilbar.

Das Kleinhirn ist an grundsätzlich allen Lernprozessen und Ausführungen von Bewegungsabläufen beteiligt. Die Bedeutung für das motorische Lernen liegt in der Fähigkeit zu adaptiven Veränderungen motorischer Abläufe. Dazu treffen Informationen über den geplanten Bewegungsvollzug aus den integrativen motorischen Zentren sowie über den jeweils aktuellen Realisierungszustand aus allen sensiblen und sensorischen Systemen ein. (NOTH 1993/S.25/26)

Die **Basalganglien** umfassen im wesentlichen fünf größere Nervenkerne, die teilweise in weitere funktionale Einheiten unterteilt werden können. Im Gegensatz zum Kleinhirn kommen hier keine direkten Informationen aus der Peripherie an.

Das "Caudatum" und das "Putamen" erhalten Informationen aus fast allen kortikalen Feldern. Einige Untersuchungen u.a. von DeLONG (ebd. 1984) weisen darauf hin, daß diese Kerne unterschiedlichen Systemen, nämlich einem motorischen bzw. einem kognitiven System, angehören. Im motorischen System treffen Informationen aus den motorischen Hirnfeldern, der vorderen Zentralwindung und dem somatosensorischen Kortex im Putamen ein.

Von den inneren Segmenten des "Globus pallidus" und bestimmten Teilen (Pars reticulata) der "Substantia nigra" laufen efferente Informationen zu diversen Stammhirnkernen, den motorischen Hirnfeldern, den supplementären motorischen Arealen und zur vorderen Zentralwindung. Die Verbindung zum Hirnstamm steht in Zusammenhang mit den Bewegungen der

Augen, während die kortikalen Projektionen einen Einfluß auf die Steuerung der Skelettmuskulatur haben.

Der Vollständigkeit halber sei noch der "Nucleus subthalamicus" als weiterer Kern der Basalganglien genannt. (NOTH 1993/S.27)

Die Bedeutung der Basalganglien ist weitgehend unbekannt.

Ein Defizit des Neurotransmitters Dopamin im Striatum (Caudatum und Putamen), wie es bei der Parkinson-Krankheit vorliegt, hat einen ausgeprägten Mangel an Bewegung, insbesondere an spontanen Bewegungsmustern zur Folge.

Untersuchungen an Affen bezüglich der Entladungsmuster entsprechender Neurone lassen auf eine wesentliche Beteiligung der Basalganglien an der Auswahl und Realisierung eingefahrener Bewegungsmuster schließen.

Weitere Untersuchungen weisen auf die Bedeutung dieses Areals für die Vorbereitung der proximalen und Stammuskulatur der Extremitäten auf zielgerichtete Bewegungen. Die zur Planung und Realisierung eines Bewegungsmusters notwendige Feineinstellung wird durch die Ausarbeitung von Kommandoketten gewährleistet. Durch die Selektion entsprechender Schlüsselreize werden Impulsmuster zu den motorischen Zentren sowie dem Hirnstamm gesandt, die zur Planung und Ausführung des erforderlichen Bewegungsmusters führen.

(NOTH 1993/S.28)

Das **Rückenmark** ist u.a. für die Abstimmung der absteigenden Kommandos mit den zurückfließenden Informationen zuständig. Weitere Aufgaben bestehen in der Modulation der Impulse der Motoneurone und der Verstärkung von Rückenmarksreflexen durch rhythmische Aktivitäten lokaler Zwischenneurone. (NOTH 1993/S.28)

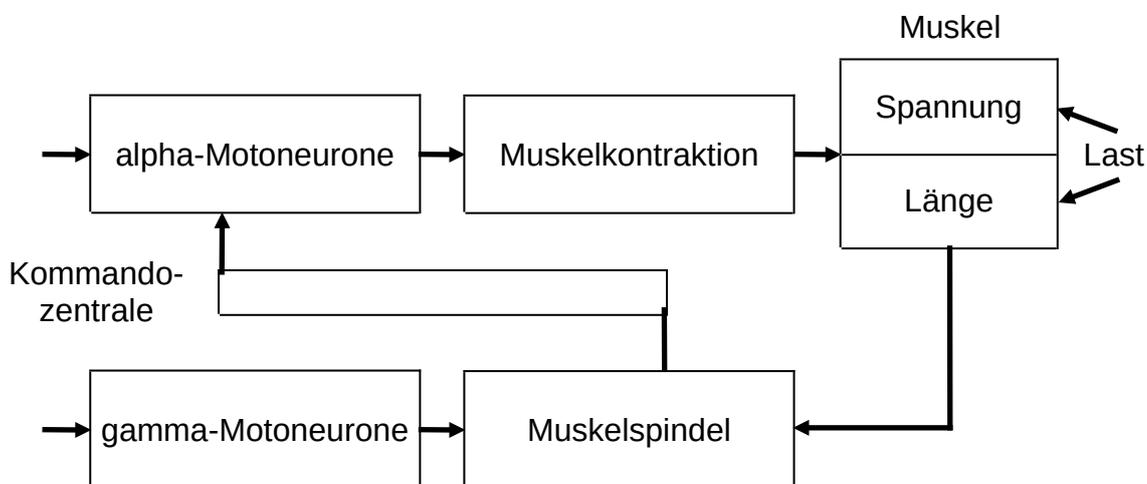


Abb.24: Schematische Darstellung des Dehnungsreflexes.

Die Theorien zur Steuerung über den spinalen Dehnungsreflex wurden bereits unter Punkt 2.5.3 dargestellt.

Da die gamma-Führungstheorie durch Untersuchungen von u.a. VALLBO (ebd. 1971) stark in Frage gestellt werden muß, soll nun auf eine Erweiterung der alpha-gamma-Koaktivierungstheorie eingegangen werden. Dazu ist in Abbildung 24 zunächst der bisher bekannte Mechanismus der gleichzeitigen Aktivierung von alpha- und gamma-Motoneuronen zu sehen.

Dabei ist jedoch nicht berücksichtigt, daß die Muskelspindel von zwei unterschiedlichen gamma-Motoneuronen innerviert wird:

Die "dynamischen" γ_D -Motoneuronen erhöhen die Schnelligkeitsempfindung, während die "statischen" γ_S -Motoneurone die Lageempfindlichkeit der Ia-Fasern verbessern. Wahrscheinlich arbeiten also bei statischen bzw. dynamischen Belastungen unterschiedliche Systeme. Die sekundären Muskelspindelrezeptoren, II-Fasern genannt, werden nur über die γ_S -Motoneurone innerviert (Abb.25).

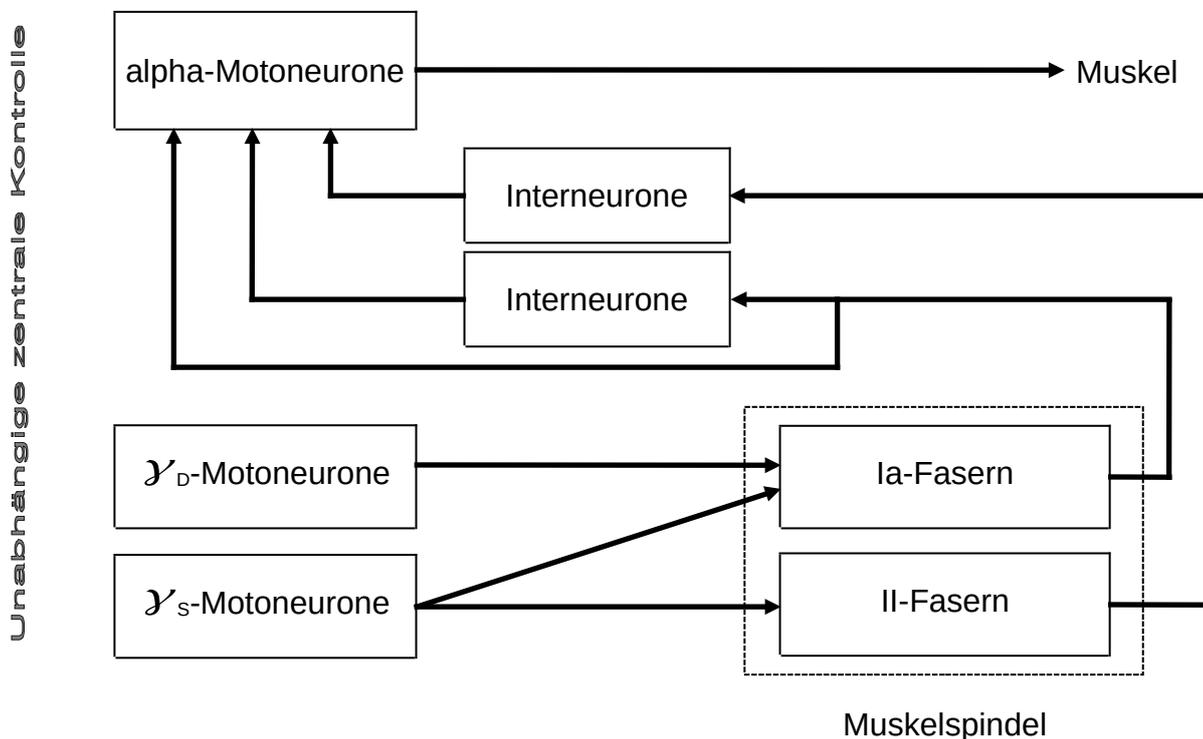


Abb.25: Verschaltung der γ_D - und γ_S -Motoneurone.

Die γ_D -Motoneurone wirken auf die Geschwindigkeitsempfindlichkeit der Ia-Fasern. Die γ_S -Motoneurone regeln die Lageempfindlichkeit beider afferenter Fasertypen (Ia- und II-Fasern). Die Ia-Fasern stehen sowohl in mono- als auch in polysynaptischer -über Interneurone- Verbindung mit den motorischen Vorderhornzellen. Monosynaptische Verschaltungen der II-Fasern kommen hingegen selten vor.

Neuere Untersuchungen von HULLIGER e.a. (ebd. 1985) bestätigen eine unabhängige Steuerung der γ_{D} - und γ_{S} -Motoneurone und bieten darüber hinaus Hinweise auf die Unabhängigkeit der alpha- von der gamma-Innervation. (NOTH 1993/S.28-30)

Weitere Untersuchungen von beispielsweise DIETZ e.a. (ebd. 1981) belegen die von NICHOLS und HOUK (ebd. 1976) eingebrachte These, daß der Muskeldehnungsreflex vor allem für die Steuerung der Dehnbarkeit eines Muskels von Bedeutung ist. Derartige Betrachtungen führen ebenfalls zu der Unterscheidung verschiedener Reflexsysteme. (NOTH 1993/S.30/31)

Die Bedeutung des Muskeldehnungsreflexes zeigt sich u.a. in der Möglichkeit zur Anpassung der aktuellen Bewegungsausführung durch die Änderung der Empfindlichkeitseinstellung der Reflexbögen bei veränderlichen internen und externen Bedingungen. (NOTH 1993/S.31)

3.2.2 Dynamische Systemtheorien

In den dynamischen Systemtheorien werden die Begriffe und Gesetzmäßigkeiten der Synergetik und der Nichtlinearen Dynamik auf den trainierenden Organismus angewendet. Dabei geht man davon aus, daß die für einen Bewegungsvollzug notwendigen, neurophysiologischen Prozesse einer Musterbildung im Sinne der Synergetik gleichkommen. Die Komplexität derartiger Vorgänge wurde im vorangehenden Abschnitt deutlich. Im folgenden sollen zunächst die zur Erklärung der Musterbildung herangezogenen Konzepte an einem einfachen Beispiel aus der Physik erklärt werden.

3.2.2.1 Grundlagen

Ausgangspunkt der Betrachtung ist eine homogene Flüssigkeitsschicht der Dicke d . Dieses System befindet sich in einem geordneten Zustand, der nun durch eine gleichmäßige Erhitzung von unten gestört werden soll. Im unteren Bereich bildet sich eine höhere Temperatur aus als in weiter oben liegenden Flüssigkeitsschichten:

$$T_{\text{U}} - T_{\text{O}} = \Delta T.$$

Die Temperaturdifferenz ΔT läßt sich durch die zugeführte Wärme kontrollieren und wird deshalb als "Kontrollparameter" des Systems bezeichnet. Der Kontrollparameter ist ein Maß für die Auslenkung des Systems aus der Gleichgewichtslage. Eine Ungleichgewichts-Situation besteht bei der Flüssigkeitsschicht aufgrund der unterschiedlichen Dichte einzelner Flüssigkeitsvolumina entsprechend der Temperaturverteilung.

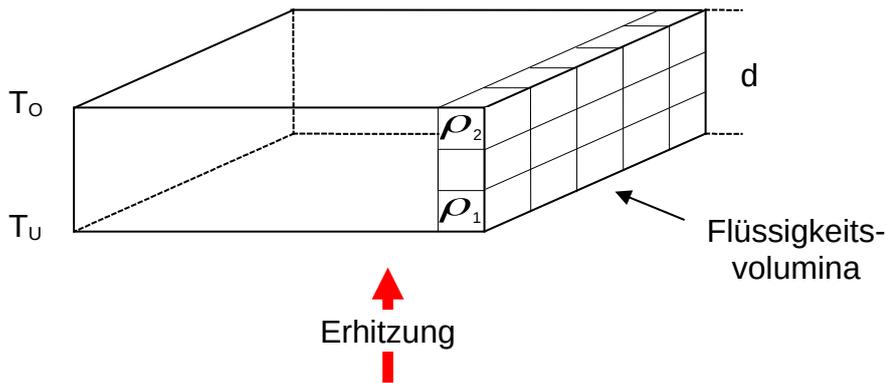


Abb.26: Flüssigkeitsschicht mit $\rho_1 < \rho_2$.

Solange ΔT relativ klein bleibt, kehrt die Flüssigkeit wieder in ihren homogenen Referenzzustand zurück. Die aufgrund der unterschiedlichen Dichte wirkenden Kräfte werden durch die innere Reibung (Viskosität) der Flüssigkeit kompensiert. Der Temperaturtransport erfolgt daher zunächst auf molekularer Ebene.

Bei Annäherung an den "kritischen" ΔT -Wert reicht jedoch ein zusätzlicher kleiner Anstieg der Temperaturdifferenz und der homogene Zustand wird instabil. Das System geht verblüffenderweise in einen anderen hochgeordneten, stabilen Zustand über. Man beobachtet ein Strömungsmuster in der Form von Rollenbewegungen, das sich durch Identifikation der x-Achse mit der Breite der Flüssigkeit und der y-Achse mit der vertikalen Strömungsgeschwindigkeit mathematisch beschreiben lässt (Abb.27).

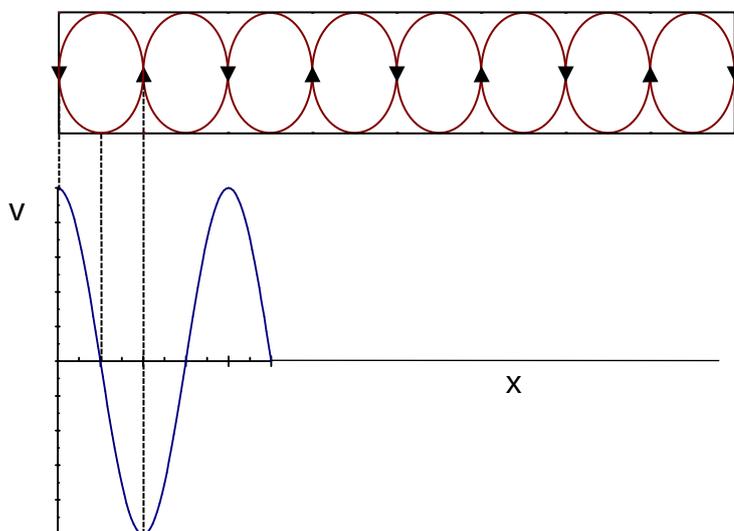


Abb.27: Rollenmuster (Seitenansicht) und mathematische Beschreibung.

In diesem Sinne kann der gefundene Zustand als sin-Funktion der Form

$$v_z(x) = A_1 \sin k_1 (x + \varphi)$$

dargestellt werden. Dabei bedeutet A_1 die der Schwingung zugehörige Amplitude, $k_1 = 2\pi/\lambda_1$ ihre Wellenzahl ($\lambda_1 =$ Wellenlänge) und $\varphi = \pi/2$ die entsprechende Phasenverschiebung.

Derartige Funktionen sind jedoch theoretisch unendlich viele denkbar:

$$v_z(x) = A_n \sin k_n (x + \varphi).$$

Es stellt sich also die Frage, warum und wie sich die spezielle Amplitude A_1 ausbildet. Zur Klärung dessen betrachtet man die Fluktuationen einzelner Volumina, die nach Erreichen des kritischen $D T$ -Wertes entstehen als Amplitudenansätze möglicher Schwingungen. Die meisten dieser Ansätze klingen wieder ab, wohingegen sich der "Ordnungsparameter" A_1 durchzusetzen vermag. Die zeitliche Entwicklung dieser Größe, die sich analog dem anharmonischen Oszillator gemäß der Gleichung

$$d/dt A_1 = \alpha A_1 - \beta A_1^3 \quad *$$

verhält, gibt Aufschluß über die Bedingungen für das Entstehen von A_1 . In der Gleichung stellt αA_1 die Zuwachsrate mit dem Wachstumsparameter α , βA_1^3 die Verlustrate mit dem Verlustparameter β dar. α und β sind vom System vorgegebene Größen.

Für zunächst kleine A_1 (Fluktuation) kann man das kubische Glied des Terms vernachlässigen, so daß die Änderung von A_1 positiv ist. Die Amplitude erfährt also weiteres Wachstum bis der nun stärker werdende Einfluß des Verlustparameters schließlich ein weiteres Anwachsen kompensiert. Es wird demnach die Änderung des Ordnungsparameters $d/dt A_1 = 0$, d.h. A_1 nimmt einen konstanten Wert an (siehe Abb.28).

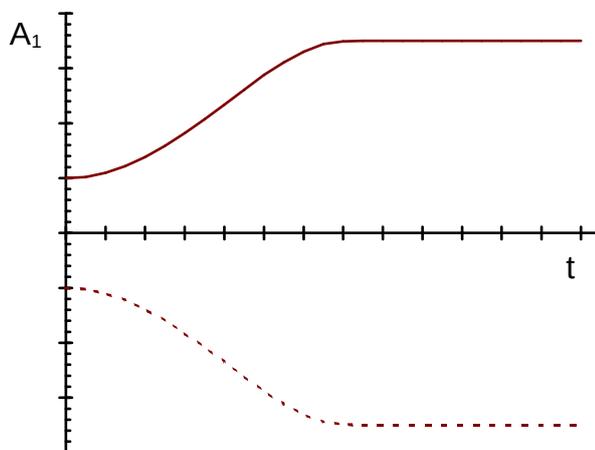


Abb.28: Zeitliche Entwicklung des Ordnungsparameters A_1 .

Mit der Bedingung $d/dt A_1 = 0$ ergibt sich für Gleichung *

$$0 = \alpha A_1 - \beta A_1^3$$

und nach einfachen Umformungen die Lösungen

$$A_1 = 0 \text{ oder } A_1 = \pm \sqrt{\alpha/\beta} .$$

Ersterer ist der uninteressante Fall, daß A_1 noch nicht entstanden ist. Der Ausdruck $\pm \sqrt{\alpha/\beta}$ stellt die vom System vorgegebenen Bedingungen dar, wobei α und β Größen wie beispielsweise Viskosität oder Dicke der Flüssigkeit beinhalten. Die Amplitude A_1 erfüllt diese Bedingungen und wird daher in ihrer Entwicklung begünstigt. Für alle anderen Amplituden gibt das System einen negativen Wachstumsfaktor α vor und vollzieht auf diese Art und Weise eine Selektion.

Die -genau betrachtet- zwei vorhandenen Lösungen für $A_1 \neq 0$ stellen eine sogenannte "Bifurkation" (Verzweigung) im Verhalten des Systems dar. In Abbildung 28 ist dies durch den gestrichelten Zweig angedeutet. Die Flüssigkeit hat also die Wahl zwischen zwei gleichberechtigten Strukturen, die man die "Attraktoren" des Systems nennt.

Die Auswahl erfolgt dabei nach dem in der Nichtlinearen Dynamik unter dem Namen "Schmetterlingseffekt" bekannten Kausalitätsprinzip, das einer kleinen Änderung einer Ursache eine extreme Veränderung der Wirkung zuspricht. Dieses Prinzip ist ja schon beim Erreichen des kritischen $D T$ -Wertes in Erscheinung getreten.

Das Verhalten des Systems läßt sich durch Potentialmuldenmodelle darstellen, wobei die x-Achse mit der Amplitude und die y-Achse mit dem Potential identifiziert wird. Der Fall einer abklingenden Amplitude ist in Abbildung 29 zu sehen: Die Position der Kugel symbolisiert den Zustand des Systems. Die Rückkehr in die Nullstellung ist vorprogrammiert.

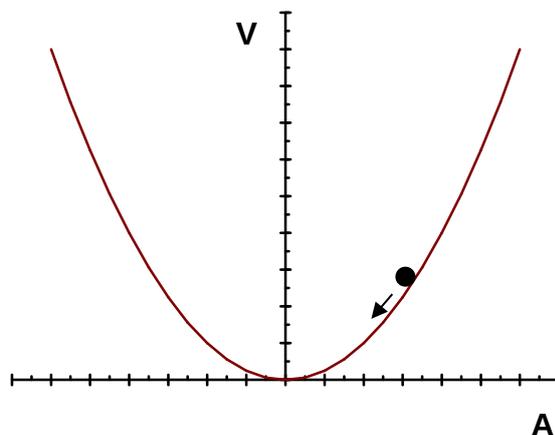


Abb.29: Potentialmuldenmodell für A_n mit $n \neq 1$.

Anders sieht die "Potentiallandschaft" für den Ordnungsparameter A_1 aus. Die Lage der Kugel ist hochgradig instabil und die Wahl zwischen den beiden Attraktoren wird durch minimale Auslenkung in die eine oder andere Richtung getroffen. Ein kleiner Vorsprung der einen gegenüber der anderen Amplitude bewirkt also gemäß dem Schmetterlingseffekt die Ausbildung des entsprechenden Musters.

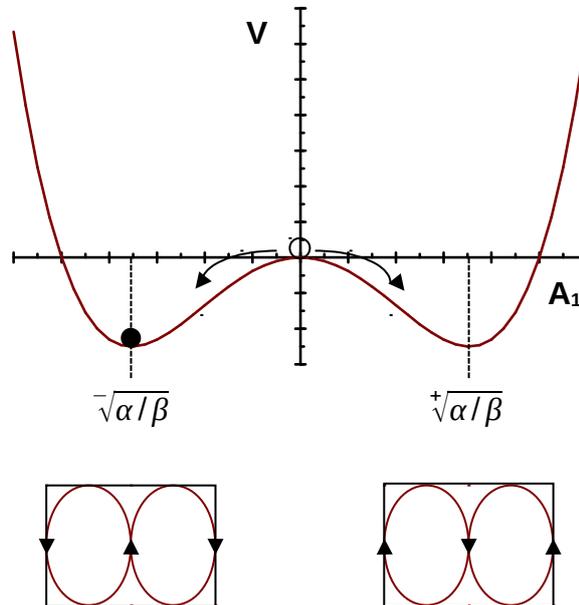


Abb.30: Potentialmuldenmodell für den Ordnungsparameter A_1 .

Derartige Bifurkationen bringen eine Einschränkung der Vorhersagbarkeit bezüglich des Verhaltens des Systems mit sich. Bei anderen Experimenten erhält man durch zusätzliche Variation des Kontrollparameters weitere Zustände, die jeweils wieder über Bifurkationen erreicht werden. Verfolgt man diesen Weg der immer stärkeren Verästelung weiter, so ist ab einem bestimmten Punkt überhaupt keine Vorhersage mehr möglich: Das System durchläuft also Phasen des Chaos.

Umso erstaunlicher ist daher die Bildung von Strukturen. Von großer Bedeutung ist dabei auch das sogenannte "Versklavungsprinzip": Die einmal entstandene Amplitude A_1 zwingt nun weiteren Flüssigkeitselementen diesen Bewegungszustand auf, sie werden "versklavt". Betrachtet man diese Beteiligung an der Bewegung als ein Anwachsen des Ordnungsparameters, wodurch ja wiederum vermehrt Flüssigkeitsvolumina versklavt werden können, so wird klar, daß schließlich die gesamte Flüssigkeit der Amplitude A_1 folgen muß. Von außen ist dann besagtes Rollenmuster zu erkennen.

Tatsächlich bildet sich im Experiment eine Wabenstruktur, die man sich als Überlagerung dreier, um jeweils 60° gedrehter Rollenmuster vorstellen kann (Abb.31).

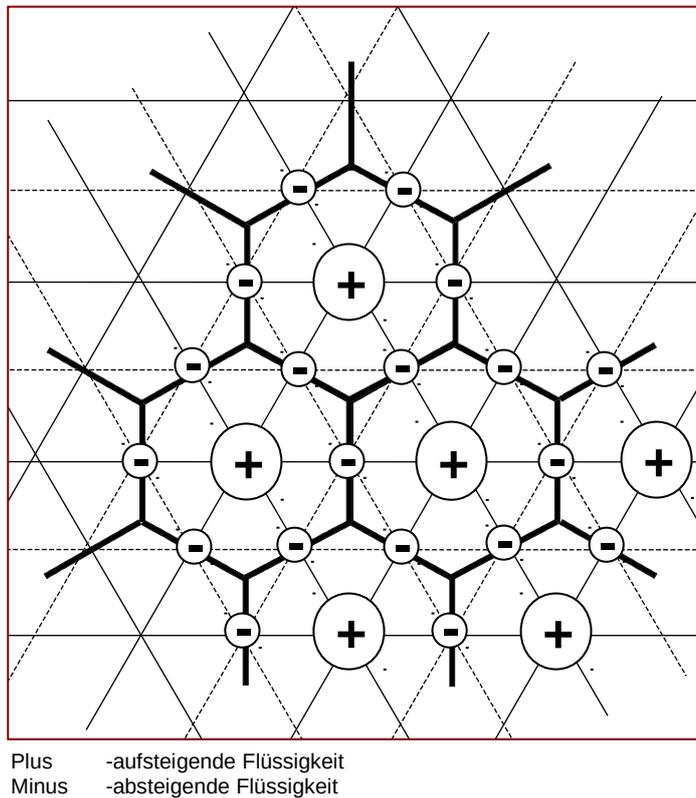


Abb.31: Schematische Darstellung des Wabenmusters.

Abbildung 32 zeigt das Wabenmuster im Experiment. Dieses Muster erweist sich selbst gegenüber groben Störungen wie Umrühren stabil und ist zudem die energetisch günstigste Lösung für den Temperaturtransport. Die Unregelmäßigkeiten sind wahrscheinlich auf Verunreinigungen der Flüssigkeit zurückzuführen (siehe folgende Seite).

Das hier vorgestellte Konzept der Musterbildung durch Selbstorganisation läßt sich auch auf Bewegungen wie beispielsweise den Trab eines Pferdes oder wie nachfolgend unter Punkt 3.2.2.2 dargestellt auf sportliche Bewegungsvollzüge anwenden.

aus: HAKEN 1991
 MAINZER 1991

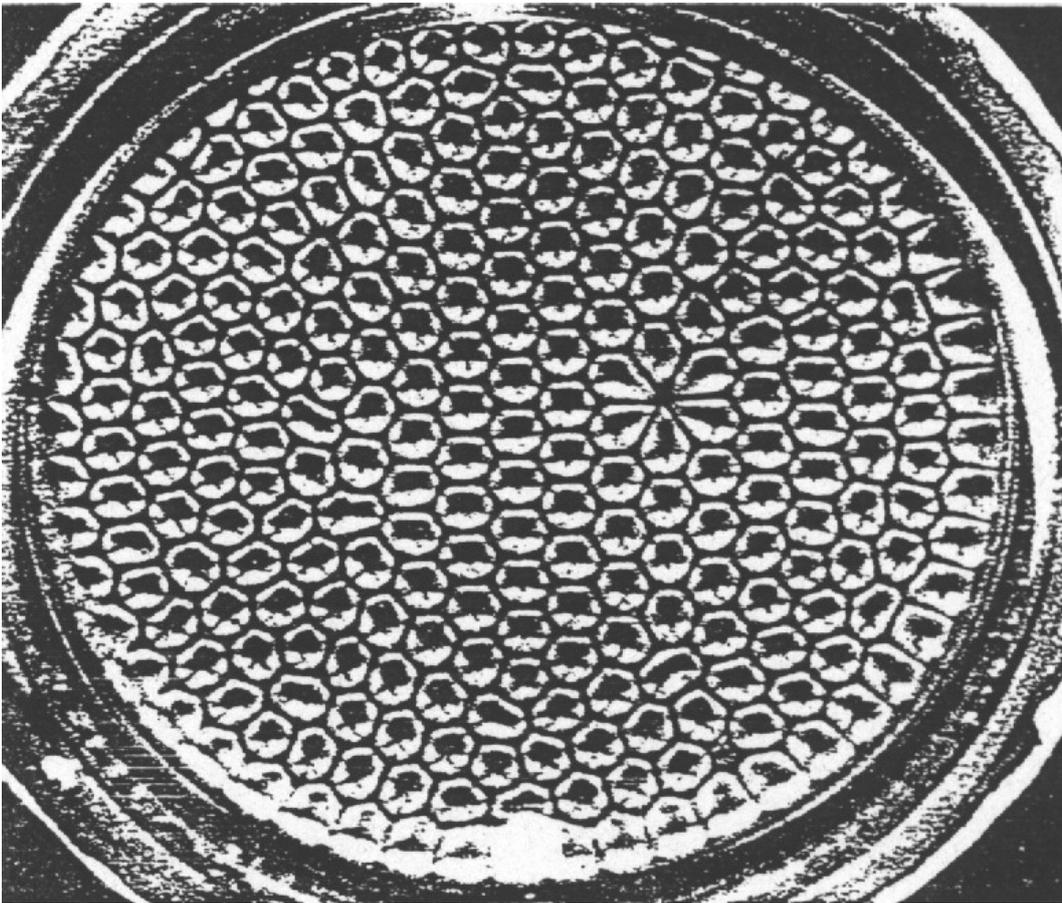


Abb.32: Das Wabenmuster im Experiment.

3.2.2.2 Anwendung

Im nun dargestellten Versuch von BLASER e.a. werden die beobachtbaren zyklischen Bewegungen (Bewegungsmuster) einer Schwimmerin als Ausdruck zentralnervös-energetischer Selbstorganisation gedeutet und mit dem Instrumentarium der dynamischen Systemtheorien beschrieben.

Grundlage der Betrachtung ist das Zentralnervensystem als dissipatives System, dessen Eigendynamik (Erregung und Hemmung) durch die Bahnung in Grenzen gehalten wird. Diese Bahnung von Bewegungsmustern kann man sich als neuronale Verschaltungen vorstellen, die bei gleichbleibender Informationskonfiguration durch Übung entstehen.

Eine derartige geordnete Struktur ermöglicht das zeitlich-räumlich-funktionelle Zusammenwirken mit den ebenfalls strukturierten, energetischen Abläufen der Muskulatur. In diesem Zustand wird eine äußere Belastung durch eine entsprechende Leistungsabgabe kompensiert. Das "System" Organismus befindet sich also in einem stabilen Ordnungszustand.

Wird nun die Belastung gesteigert, kann das derzeitige psychophysische Funktionsniveau im Sinne des durch Feedbackinformationen ermöglichten Fließgleichgewichts zunächst noch aufrecht erhalten werden.

Bei einer weiteren Erhöhung der Belastung kommt es jedoch schließlich durch irreversible Prozesse im Zuge der anabolen Adaption zum Umbruch (Instabilität). Diese Umbruchsituation stellt sich im Nervensystem als Phasenübergang bezüglich veränderter dissipativer Strukturbildung dar. Mögliche Folgen des Umbruchs sind Leistungssteigerung, Leistungslimitierung bzw. Leistungsabbruch. (BLASER 1994/S.277/278)

Im Experiment wurde u.a. eine ansteigende Belastung für die Schwimmerin durch die regulierbare Anströmgeschwindigkeit (Kontrollparameter) im Strömungskanal realisiert. Aus Tabelle 7 sind die genauen Parameter abzulesen.

	n = 11
	Test: "Stufenförmig ansteigende Belastung"
Belastungsstärke von.....bis	0,5 m/s - 1,0 m/s
Belastungsdauer pro Test	30 s
Anzahl der Zyklen insgesamt	119

Tab.7: Stufenförmig ansteigende Belastungsstruktur beim Brustschwimmen im Strömungskanal.

Bei der Auswertung der zweidimensionalen Videoaufnahmen mit Hilfe eines Technikmodells wurde die koordinativ-energetische Beanspruchung des jeweiligen Zustandes durch die Auswahl der drei Größen Zyklusweg, Zyklusfrequenz und Zyklusgeschwindigkeit berücksichtigt. Dabei ist zu bemerken, daß durch den für zyklische Bewegungen typischen, funktionalen Zusammenhang des Zyklusweges und der Zyklusfrequenz als Produkt der Zyklusgeschwindigkeit die koordinativ-energetischen Wechselbeziehungen gut abzubilden sind: Die Gestaltung des Zyklusweges hängt in erster Linie von energetischen Potentialen ab, während die Erzeugung der Bewegungsfrequenz vor allem neural-koordinativ bedingt ist.

Die Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Bewegungszustände der Athletin kann in diesem Sinne durch Identifikation des Zyklusweges s , der Zyklusfrequenz f und der Zyklusgeschwindigkeit v mit den Achsen eines dreidimensionalen Koordinatensystems erfolgen. In einem derartigen "Zustands-

raum" lassen sich die Zustände Chaos und Ordnung des Systems und somit die Attraktoren beobachten. Als Attraktoren sind hier die zur Erreichung des Bewegungsziels eingesetzten Techniken anzusehen.

(BLASER 1994/S.278-280)

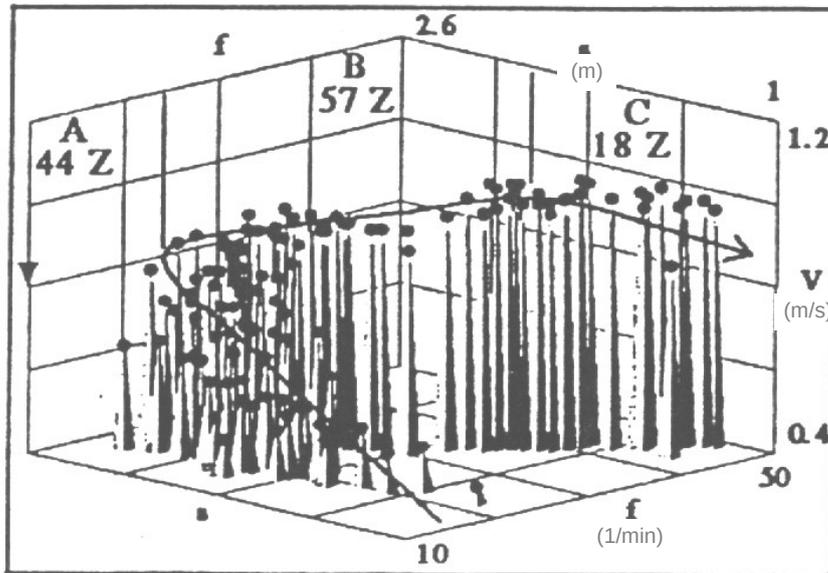


Abb.33: Zustandsraum (Z = Zyklen).

In Abbildung 33 lassen sich drei unterschiedliche Zustandsräume unterscheiden, die charakteristisch für eine ansteigende Belastung sind. Während den ersten Belastungsstufen in Raum A erfolgt ein Einpegeln des Systems bei bestehendem Gleichgewicht zwischen Belastung und Beanspruchung. Vortrieb und auch Geschwindigkeitssteigerungen werden energieökonomisch durch einen großen Zyklusweg und eine vergleichsweise geringe Zyklusfrequenz erzeugt.

Raum B läßt sich auch als Gleichgewichtszustand interpretieren, jedoch verändert sich hier das Verhältnis Zyklusweg/Zyklusfrequenz zu Ungunsten des Zyklusweges. Die vorangegangene Umbruchsituation ist durch einen entsprechenden Phasenübergang gekennzeichnet (Streuung).

Eine zusätzliche Steigerung der Belastung (Raum C) führt zu einer unökonomischen Bewegungsregulation: Der Zyklusweg wird weiter verkürzt, die Zyklusfrequenz immer mehr erhöht. Hierin zeigt sich die zunehmende Ermüdung. (BLASER 1994/S.280/281)

Es entstehen also im Sinne einer Bildung dynamischer Strukturen deutlich unterschiedliche Ordnungsformen, die man als nervale Bewegungsmuster deuten kann. Die Muskulatur reagiert darauf mit einem koordinierten Zusammenspiel entsprechend dem Bewegungsziel (Attraktor). Die unter den jeweiligen Bedingungen entstehenden Ordnungsformen bilden sich durch Selbstorganisation.

Durch die Änderung des Kontrollparameters durchläuft das System eine Hierarchie selbstorganisierter Strukturen unter Variation von zeitlichen und räumlichen Parametern. Dies beinhaltet das Einpegeln des Systems von der relativen Ruhe bis zur Leistungsabgabe entsprechend der jeweiligen Belastung und die Vorgänge im Falle der Überforderung.

Zunächst wurde bei steigender Belastung die intrazyklische Struktur der Bewegung beibehalten. Ab einer bestimmten Belastung ging das System dann jeweils zur Sicherung der Leistungsabgabe über einen Phasenübergang in einen anderen Zustandsraum über.

Bei weiterer Belastungserhöhung mit Überschreiten der metabolen Möglichkeiten ist ein Zerfallen der Struktur (Chaosbildung) mit anschließender Reorganisation auf einem höheren Niveau der Leistungsfähigkeit denkbar. (BLASER 1994/S.282/283)

3.3 Motorisches Lernen

SCHÖLLHORN (ebd. 1995) zeigt in seiner Studie u.a., wie der motorische Lernprozess systemdynamisch beschrieben werden kann.

Ziel des Experimentes war die Verbesserung der Diskuswurftechnik eines Zehnkämpfers und eines Spezialisten, da diese azyklische, komplexe Bewegung exemplarisch für eine Vielzahl von Sport- und Alltagsbewegungen betrachtet werden kann. Zum Zwecke der Bewegungsbeschreibung wurden Zeit-, Längen-, Geschwindigkeits-, Winkel-, Winkelgeschwindigkeits- und Drehimpulsmerkmale durch Auswertung von Filmaufnahmen herangezogen. (SCHÖLLHORN 1995/S.105/112-118)

Der Vergleich dieser Merkmale mit einem speziellen Versuch des Spezialisten, der als Idealtechnik ausgewählt wurde (Referenzmuster), diente als Grundlage für die Ansteuerung. Wesentlich dabei sind die Ähnlichkeitsmaße der zeitkontinuierlichen Merkmale, die man als Ordnungsparameter ansehen kann. Durch derartige Veränderungen der Verlaufscharakteristik von Merkmalen -durch S-Faktorenanalyse gewonnen- können prozessuale Veränderungen festgestellt werden. (SCHÖLLHORN 1995/S.120-122/125)

Von großer Bedeutung für das motorische Lernen sind die sogenannten Intermittenzen (größere Schwankungen) der Bewegung, da sie nach KELSO /deGUZMAN (ebd. 1992) als spontane Verhaltensänderungen im Zuge einer Anpassung an variable Verhältnisse aufzufassen sind. (SCHÖLLHORN 1995/S.164)

So ist beispielsweise beim Spezialisten bezüglich mehrerer Merkmale ein Phasenübergang nach dem dritten Versuch zu beobachten, der sich in einer qualitativen Änderung der Verlaufsmuster zeigt. Hier sind zwei Phänomene zu unterscheiden, die jeweils bei unterschiedlichen Merkmalen in Erscheinung treten:

- Die ersten drei und letzten fünf Versuche zeigen wenig Ähnlichkeit im Verlauf einiger Winkelgeschwindigkeitsmerkmale,
- die ersten drei Versuche unterliegen gegenüber den letzten fünf bezüglich der rechten Fuß- und Schulterwinkelgeschwindigkeiten stärkeren Schwankungen.

Der erste Fall läßt sich als zunehmende Fluktuation in Hinblick auf eine bevorstehende Änderung des Bewegungsmusters (Technikänderung) deuten, während das zweite Phänomen als abklingende Schwankung nach einem Phasenübergang interpretiert werden kann. (SCHÖLLHORN 1995/S.196)

Ebenso ist zwischen dem dritten und vierten Versuch hinsichtlich des Drehimpulses des rechten Arms um die x-Achse durch den Körperschwerpunkt eine Umstellung des Bewegungsmusters festzustellen.

Diese Änderung der relativen Armbewegung des Wurfarms kann jedoch nicht ohne weiteres auf die alleinige Aktivität der Schulter- und Brustmuskulatur zurückgeführt werden, da sich der Drehimpuls des Armes genauso durch die Fixation des Schultergelenks oder auch durch die Änderung der Bewegung des Rumpfes verändern kann (Intersegmentelle Dynamik).

Eine diesbezügliche Bestätigung findet sich in dem parallelen Ähnlichkeitsverlauf des Rumpfdrehimpulses, der auf eine Ansteuerung von Merkmalen zu Beginn der zweistützigen Abwurfphase zurückgeführt werden kann. Die erfolgreiche Ansteuerung des eingangs in Wurfrichtung zu weit links gesetzten Fußes des Stemmbeins und des zu weit in Wurfrichtung gedrehten Oberkörpers (Ansteuerung über Wurfarmlagewinkel) bewirkte eine Änderung des Drehimpulsverlaufs bzgl. der x-Achse. Die vorher ab dem Aufsetzen des linken Fußes nur nach links stattfindende Rumpfbewegung erfolgte nun zunächst nach rechts und dann nach links. (SCHÖLLHORN 1995/S.199)

Die Analyse der Ähnlichkeiten von Merkmalsgruppen ergibt für den Spezialisten eine disjunkte Partitionierung der ersten drei bzw. letzten fünf Würfe. Ein solcher Wechsel zwischen Äquivalenzklassen wird nach HAKEN/WUNDERLIN (ebd. 1991) als "strukturelle Instabilität" bezeichnet.

Der spontan auftretende Wechsel der Ähnlichkeit ist hier mit stärkeren Schwankungen verbunden, während die Fluktuationen sowohl vor als auch nach dem Phasenübergang relativ gering sind (Stabilität). Eine Deutung dieser Befunde in Richtung auf eine überdauernde Veränderung des Bewegungsmusters liegt daher nahe.

Die insgesamt größeren Fluktuationen des Zehnkämpfers erreichen offenbar nicht den für eine Technikänderung notwendigen Wert. (SCHÖLLHORN 1995/S.201/202)

Die Winkelgeschwindigkeitsmerkmale weisen im Vergleich zu anderen Merkmalen allgemein geringere Ähnlichkeiten auf. Die Dynamik einer Bewegung ist demnach schwieriger nachzuvollziehen als ihre Geometrie. Diese Erkenntnisse sind konform mit der üblichen Unterteilung des Lernprozesses in Lernstufen: So wird beispielsweise bei MEINEL (ebd.1977) oder bei ROTH/WILLIMCZIK (ebd. 1983) die "Grobform" mit einer groben Übereinstimmung der Geometrie und die "Feinform" mit einer Ähnlichkeit des Bewegungsflusses bzw. der Gelenkgeschwindigkeiten charakterisiert. (SCHÖLLHORN 1995/S.203)

Der Spezialist ist gegenüber dem Zehnkämpfer in der Lage aus verschiedenen Anfangspositionen das erlernte Muster zu reproduzieren. Die Strukturierung der Bewegung kristallisiert sich also erst mit dem entsprechenden Technikniveau heraus. Auch hier sei auf die Parallele zur Definition von Lernstufen, die im fortgeschrittenen Stadium die Ausführung einer Bewegung unter wechselnden Bedingungen fordern, hingewiesen. (SCHÖLLHORN 1995/S.207)

Die aufgezeigte Anwendbarkeit des systemdynamischen Ansatzes auf das motorische Lernen bezieht sich auf alle an der Bewegung beteiligten Systeme: Analoges Systemverhalten kann auf ZNS-Ebene (FUCHS e.a. 1992) sowie auf EMG-Ebene (KELSO 1995) und auf verschiedenen Mehrgelenkebenen (KELSO e.a. 1991 u.1992) beobachtet werden.
(SCHÖLLHORN 1996/S.3)

4. **Schlußbetrachtung**

Unter Berücksichtigung der "intersegmentellen Dynamik" nach SCHNEIDER (ebd. 1990) wird die immense Bedeutung der Koordination für sportmotorische Bewegungshandlungen deutlich. Umso mehr ist zur Beschreibung solch komplexer koordinativer Prozesse eine Theorie vonnöten, die sich entsprechend der Belange der Sportpraxis umsetzen läßt.

Der dargestellte systemdynamische Ansatz ist in diesem Zusammenhang als sehr vielversprechend zu bezeichnen. In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, wie mit dem Instrumentarium Bewegungszustände beschrieben, sowie Lernprozesse analysiert und beeinflusst werden können.

Insbesondere ergeben sich darüber hinaus durch die Berücksichtigung von Fluktuationen und Intermittenzen als Notwendigkeit für eine Anpassung an variierende Umweltbedingungen Erklärungsmöglichkeiten hinsichtlich der Variabilität und der Bewegungsvariation.

Letzteres ist nach ROCKMANN-RÜGER (ebd. 1991/S.41/42) -dort Neuigkeitsproblem genannt- ein Aspekt, den die SCHMIDTsche Schematheorie nicht zu erklären vermag. Demnach kann das Umstellen des Bewegungsmusters in nicht standardisierten Situationen, wie z.B. in den Sportspielen, nicht geklärt werden. Wenn beispielsweise einem Basketballspieler nach bereits eingeleiteter Wurfbewegung, die durch einen Gegenspieler mittels Beinstellen gestört wird, im Fallen ein Paß zu seinem Mitspieler gelingt, gibt die Schema-Theorie keinen Aufschluß darüber, woher das Programm der in dieser Form nie ausgeführten Bewegung kommt.

Das hier angesprochene Problem besteht darin, daß nach dem Verlassen des GMP (Generalisiertes motorisches Programm) der entsprechenden Bewegungsklasse erst ein neues Programm erstellt werden müsste.

Eine diesbezügliche Erklärung liefert der systemdynamische Ansatz durch das Konzept der Attraktoren. Nach dem "Instabil-Werden" des ursprünglichen Bewegungsmusters wird entsprechend den veränderten Gegebenheiten ein anderer Attraktor angestrebt.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß durch die synergetische Mustererkennung, die als Umkehrung der Musterbildung weitere Aspekte der Bewegungsausführung berücksichtigt (z.B. Wahrnehmungsprozesse), auch die Quantifizierung komplex strukturierter Bewegungsqualitäten möglich ist. Somit kann -bezogen auf z.B. Fortbewegungsarten- nicht nur zwischen verschiedenen Fortbewegungsgeschwindigkeiten als Beispiel einfach strukturierter Bewegungsqualitäten, sondern auch zwischen Bewegungsklassen (Kriechen, Gehen, Traben, Laufen), deren Modi (schleichendes, federndes, hüpfendes Gehen) und Stilen (individuelle Ausprägung der Bewegungsklassen und -modi) unterschieden werden (vgl. SCHÖLLHORN 1995/S.57/58 und 1996/S.2).

Insgesamt umfasst die systemdynamische Betrachtung einen größeren Anwendungsbereich als andere Theorien, zumal die sich daraus ergebenden Möglichkeiten sicherlich noch nicht voll ausgeschöpft sind. Demgegenüber beschränkt sich nach SCHÖLLHORN (ebd. 1995/S.229) die Gültigkeit der Schema-Theorie offenbar durch die Hypothese der Bewegungsinvarianten und -parameter auf den Bereich hochautomatisierter Bewegungen.

Differenziertere Konzepte zur Ansteuerung sowie Erkenntnisse zur Diagnose bedürfen weiterer Forschung und Ausarbeitung.

Schließlich bleibt noch zu erwähnen, daß nach neuesten Erkenntnissen (siehe SCHÖLLHORN 1996) der systemdynamische Ansatz ebenso auf die motorische Ontogenese angewandt werden kann. Zu diesem Zwecke betrachtet man eine "Potentiallandschaft", wie sie in Abbildung 34 zu sehen ist.

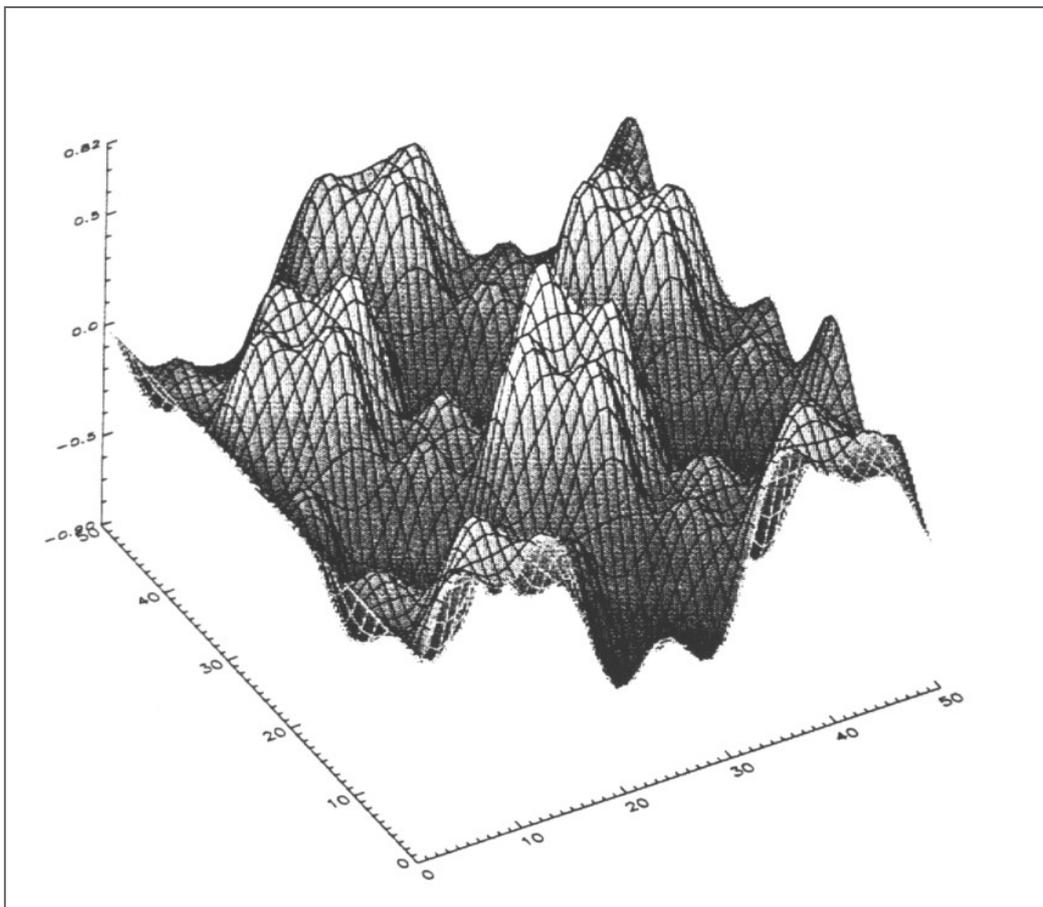


Abb.34: Potentiallandschaft.

Die tiefen Täler sind dabei als Attraktoren, hier automatisierte Bewegungsformen, zu interpretieren. Je mehr Bewegungsformen ein Mensch in seinem motorischen Repertoire aufzuweisen hat, desto mehr Täler und Spitzen treten auf. Ein Kleinkind hätte demzufolge eine relativ unausgeprägte Potentiallandschaft.

Früh erlernte und häufig angewandte Bewegungsformen wie Gehen zeichnen sich durch die entsprechende Tiefe des zugehörigen Tales aus.

Spätestens mit der Anwendung des systemdynamischen Instrumentariums auch auf die Ontogenese wird die umfassende Bedeutung dieser Theorie deutlich.

„The secret of co-ordination lies not only in not wasting superfluous force in extinguishing reactive phenomena but, on the contrary, in employing the latter in such a way as to employ active muscle forces only in the capacity of complementary forces.“

BERNSTEIN 1967

Literaturverzeichnis

- Adams, J.A.: A closed-loop theory of motor learning. In *Journal of Motor Behaviour* 3, 1971.
- Anochin, P.K.: Psychologie und Kybernetik. Sowjetwissenschaft - Naturwissenschaftliche Beiträge. Berlin 1958.
- : Das funktionelle System als Grundlage der physiologischen Architektur des Verhaltensaktes. Jena 1967.
- : Physiologie und Kybernetik. Kybernetik und Praxis. Berlin 1973.
- Bernstein, N.A.: The Co-ordination and Regulation of Movements. Oxford 1967.
Wiederveröffentlichung in *Bernstein, N.A.: Biodynamics of Locomotion. Human Motor Actions. Bernstein reassessed.* Hrsg.: H.T.A. Whiting. Amsterdam 1984.
- : Bewegungsphysiologie. Sportmedizinische Schriftenreihe der DHfK Bd.9. Leipzig 1975.
- Bilodeau, E.A./Bilodeau, I. McD.: Variation of temporal intervals among critical events in five studies of knowledge of results. In *Journal of Experimental Psychology* 55, 1958.
- Bilodeau, E.A./Bilodeau, I. McD./Schumsky, D.A.: Some effects of introducing and with-drawing knowledge of results early and late in practice. In *Journal of Experimental Psychology* 58, 1959.
- Bilodeau, I. McD./Jones, M.B.: Information feedback in positioning: Problems and progress.
In Smith, L.E. (Hrsg.): *Psychology of motor learning.* Chicago 1970.
- Blaser, P./Stucke, C.: Periphere Phänomene zyklischer Bewegungen als ein Ausdruck zentralnervös-energetischer Selbstorganisation und Umstrukturierung.
In Hirtz, P./Nüske, F. (Hrsg.): *Motorische Entwicklung in der Diskussion.* Sankt Augustin 1994.
- Boulter, L.R.: Evaluation of mechanisms in delay of knowledge of results. Illinois 1963.
- : Evaluation of mechanisms in delay of knowledge of results. In *Canadian Journal of Psychology* 18, 1964.
- Cumbee, F.Z.: A factorial analysis of motor coordination.
In Morgan, W.P. (Hrsg.): *Contemporary readings in sport psychology.* Springfield 1970.
- DeLong, M.R./u.a.: Role of basal ganglia in limb movements. In *Human Neurobiology* 2, 1984.
- Dietz, V./Noth, J./Schmidtbleicher, D.: Interaction between pre-activity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls. In *Journal of Physiology* 311, 1981.
- Docherty, D.: Performance on selected motor skills following reduction of peripheral sensory feedback. Eugene 1973.
- Elwell, J.L./Grindley, G.C.: The effect of knowledge of results on learning and performance. In *Brit. Journ. of Psychology* 29, 1938.
- Farfel, G.S.: *Bewegungssteuerung im Sport.* Berlin 1977.
- Fentress, J.C.: Development of grooming in mice with amputated forelimbs.
In *Science* 179, 1973.
- Fleishman, E.A.: Structure and measurement of psychomotor abilities.
In Singer, R.N. (Hrsg.): *The psychomotor domain: Movement behavior.* Philadelphia 1972.
- Fleishman, E.A./Thomas, P./Munroe, P.: The dimensions of physical fitness - a factor analysis of speed, flexibility, balance and coordination tests. New Haven 1961.

- Fuchs,A/Kelso,J.A.S./Haken,H.: Phase transition in the human brain: spatial mode dynamics. In *International Journal of Bifurcation and Chaos* 2, 1992.
- Galperin,W.J.: Die Psychologie des Denkens und die Lehre von der etappenweisen Ausbildung geistiger Handlungen. In *Untersuchungen des Denkens in der sowjetischen Psychologie*. Berlin 1967.
- Gropler,H./Thiess,G.: Elemente der körperlichen Leistungsfähigkeit. In *Theorie und Praxis der Körperkultur* 25, Berlin 1976.
- Haken,H./Wunderlin,A.: Die Selbststrukturierung der Materie. Braunschweig 1991.
- Henatsch,H.D.: Bauplan der peripheren Kontrollen.
In Gauer,O.H./Kramer,K./Jung,R.(Hrsg.): *Sensomotorik*. München/Berlin/Wien 1976.
- : Zerebrale Regulation der Sensomotorik.
In Gauer,O.H./Kramer,K./Jung,R.(Hrsg.): *Sensomotorik*. München/Berlin/Wien 1976.
- Hirtz,P.: Untersuchungen zur Entwicklung koordinativer Leistungsvoraussetzungen bei Schulkindern. In *Theorie und Praxis der KK* 25, Berlin1976.
- : Struktur und Entwicklung koordinativer Leistungsvoraussetzungen bei Schulkindern. In *Theorie und Praxis der KK* 26, Berlin 1977.
- : Koordinative Fähigkeiten - Kennzeichen, Altersgang und Beeinflussungsmöglichkeiten. In *Medizin und Sport* 21, 1981.
- : Koordinative Fähigkeiten im Schulsport. Berlin 1985.
- Holst,E.v./Mittelstädt,H.: Das Reafferenzprinzip. Wechselwirkung zwischen Zentralnervensystem und Peripherie. Berlin 1950.
- Hulliger,M./Zangger,P./Prochazka,A./Appenterg,K.: Stimulation reveals large variations in fusimotor action in normal cats: "fusimotor set".
In Boyd,J.A./Gladden,M.H.(Hrsg.): *The Muscle Spindle*. New York 1985.
- Husak,W.S./Reeve,T.G.: Novel response production as a function of variability and amount of practice. In *Research Quarterly* 50, 1979.
- Ilg,H./Sikora,W.: Zur Entwicklung psychischer Komponenten der individuellen Handlungsfähigkeit im Primarschulalter.
In Hirtz,P./Nüske,F.(Hrsg.): *Motorische Entwicklung in der Diskussion*. Sankt Augustin 1994
- Kahle,W.: Nervensystem und Sinnesorgane. Taschenatlas der Anatomie Bd.3. Stuttgart 1984⁴.
- Keele,S.W.: Current status of the motor program concept.
In Landers,D.M./Christina,R.W.(Hrsg.): *Psychology of motor behaviour and sport I*. Illinois 1977.
- Keele,S.W./Summers,J.J.: The structure of motor programs.
In Stelmach,G.E.(Hrsg.): *Motor control: Issues and trends*. New York 1976.
- Kelso,J.A.S.: Recognition and recall in slow movements: Separate memory states.
In *Journal of Motor Behaviour* 10, 1978.
- Kelso,J.A.S.: *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behaviour*. Cambridge 1995.
- Kelso,J.A.S./Buchanan,J.J./Wallace,S.A.: Order parameters for the neural organization of single multijoint limb movement patterns. In *Experimental Brain Research* 85, 1991.
- Kelso,J.A.S./deGuzman,G.C.: The intermittent dynamics of coordination.
In Stelmach,G.E./Requin,J.: *Tutorials in Motor Behaviour*. Amsterdam 1992.
- Kelso,J.A.S./Jeka,J.J.: Symmetry breaking dynamics of human multilimb coordination. In *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance* 18, 1992.

- Kossakowski,A./Otto,H.: Psychologische Untersuchung zur Entwicklung sozialistischer Persönlichkeiten. Berlin 1971.
- Kossakowski,A./Ettrich,U.: Zur Entwicklung der eigenständigen Handlungsregulation. Berlin 1973.
- Krestownikow,A.N.: Physiologie der Körperübungen. Berlin 1953.
- Lashley,K.S.: The accuracy of movement in the absence of excitation from the moving organ. In *American Journal Physiol.* 43, 1917.
- Laszlo,J.I.: The performance of a simple motor task with kinesthetic sense loss. In *Quart. J. Exp. Psych.* 18, 1966.
- : Training of fast tapping with reduction of kinesthetic, tactile, visual and auditory sensations. In *Quart. J. Exp. Psych.* 19, 1967.
- Liemohn,W.P./Knapczyk,D.R.: Factor analysis of gross and fine motor ability in developmentally disabled children. In *Research Quarterly* 45, 1974.
- Lütgeharm,R.: Überlegungen zur methodischen Einordnung der Grundtätigkeiten. In *Turnen und Sport* 51, 1977.
- Luria,A.R.: Die höheren kortikalen Funktionen des Menschen und ihre Störungen bei örtlichen Hirnschädigungen. Berlin 1970.
- Mainzer,K.: Quanten, Chaos und Dämonen. Mannheim 1991.
- Meinel,K.: Bewegungslehre. Berlin 1962.
- : Bewegungslehre. Berlin 1977.
- Moxley,S.E.: Schema: The variability of practice hypothesis. In *Journal of Motor Behaviour* 11, 1979.
- Newell,K.M./Chew,R.A.: Recall and recognition in motor learning. In *Journal of Motor Behaviour* 6, 1974.
- Nichols,T.R./Houk,J.C.: Improvement in linearity and regulation of stiffness that results from action of stretch reflex. In *Journal of Neurophysiology* 39, 1976.
- Noth,J.: Die zentrale und periphere neuromotorische Steuerung. In Komi,P.V.: *Kraft und Schnellkraft im Sport*. Köln 1993.
- Nüske,F. Die Entwicklung kognitiver Aspekte der Bewegungssteuerung bei jüngeren Schulkindern. In Hirtz,P./Nüske,F.(Hrsg.): *Motorische Entwicklung in der Diskussion*. Sankt Augustin 1994
- Pawlow,I.P.: *Sämtliche Werke*. Berlin 1954.
- Pew,R.W.: Acquisition of hierarchical control over the temporal organization of a skill. In *Journal of Experimental Psychology* 71, 1966.
- Philips,C.G.: Motor apparatus of the baboon's hand. In *Proc. Roy. Soc. B.* 173, 1969.
- Pickenhain,L.: Physiologische Grundlagen der Bewegungsprogrammierung. Theorie und Praxis der Körperkultur 28 (Beiheft 1), Berlin 1979.
- Rockmann-Rüger,U.: Zur Gestaltung von Übungsprozessen beim Erlernen von Bewegungstechniken: Ausgewählte Theorien und experimentelle Befunde. Beiträge zur Sportwissenschaft Bd.18. Frankfurt a. M./Thun 1991.
- Roth,K.: Strukturanalyse koordinativer Fähigkeiten. Beiträge zur Bewegungsforschung im Sport Bd.6. Bad Homburg 1982.
- Roth,K./Willimczik,K.: Bewegungslehre. Hamburg 1983.
- Roth,K./Winter,R.: Entwicklung koordinativer Fähigkeiten. In Baur,J./Bös,K./Singer,R.(Hrsg.): *Motorische Entwicklung*. Schorndorf 1994.
- Russel,D.G.: Spatial location cues and movement production. In Stelmach,G.E.(Hrsg.): *Motor control: Issues and trends*. New York 1976.
- Sato,K.C./Tanji,J.: Digit-muscle responses evoked from multiple intracortical foci in monkey precentral motor cortex. In *Journal of Neurophysiology* 62, 1988.

- Schielke, E./Vilkner, H.-J.: Koordinative Fähigkeiten im Seniorenalter - Gedanken zu einem Untersuchungsvorhaben.
In Hirtz, P./Nüske, F. (Hrsg.): *Motorische Entwicklung in der Diskussion*. Sankt Augustin 1994.
- Schmidt, R.A.: *Motor skills*. New York/San Francisco/London 1975a.
- : A schema theory of discrete motor skill learning. In *Psychological Review* 82, 1975b.
- Schmidt, R.A./White, J.L.: Evidence for an error detection mechanism in motor skill. A test of Adams closed-loop-theory. In *Journal of Motor Behaviour* 4, 1972.
- Schmidt, R.A./Wrisberg, C.A.: Further tests of the Adams closed-loop-theory: Response-produced feedback and the error detection mechanism. In *Journal of Motor Behaviour* 5, 1973.
- Schmidt, R.F. (Hrsg.): *Grundriss der Neurophysiologie*. Heidelberger Taschenbücher. Berlin/Heidelberg 1979⁴.
- Schnabel, G.: *Bewegungslehre*. Berlin 1977.
- Schneider, K.: Koordination und Lernen von Bewegungen. Eine experimentelle Bestätigung von Bernsteins Koordinationshypothese.
In Altenberger, H./Rümmele, E. (Hrsg.): *Beiträge zur Sportwissenschaft Bd.12*. Frankfurt 1990.
- Schöllhorn, W.I.: *Systemdynamische Betrachtung komplexer Bewegungsmuster im Lernprozess (Unveröffentlichte Habilitationsschrift)*. Köln 1995.
- : Komplexe Bewegungskoordination systemdynamisch betrachtet: Intuitionen und Probleme in Bernsteins Arbeiten (Unveröffentlichtes Vortragskriptum). 1996.
- Strick, P.L./Preston, J.B.: Two representations of the hand in area 4 of a primate. Motor output organization. In *Journal of Neurophysiology* 48, 1982.
- Taub, E./Berman, A.J.: Movement and learning in the absence of sensory feedback. In Freedman, S.J. (Hrsg.): *The neuropsychology of spatially orientated behavior*. Homewood 1968.
- Trowbridge, M.H./Cason, H.: An experimental study of Thorndyke's theory of learning. In *Journal of General Psychology* 7, 1932.
- Tschaidse, L.W.: *Koordinierung willkürlicher Bewegungen beim Menschen im Blickwinkel allgemeiner Gesetzmäßigkeiten der Steuerung und der Steuerungssysteme*. Berlin 1965.
- Vallbo, A.B.: Muscle spindle response at the onset of isometric voluntary contractions in man. Time difference between fusimotor and skeletomotor effects. In *Journal of Neurophysiology* 318, 1971.
- Vandenberg, S.G.: Factor analytic studies of the Lincoln-Oseretzky-test of motor proficiency. In *Percept. Mot. Skills* 19, 1964.
- Wallace, S.A./McGhee, R.C.: The independence of recall and recognition in motor learning. In *Journal of Motor Behaviour* 11, 1979.
- Weinberg, D.R./Guy, D.E./Tupper, R.W.: Variations of postfeedback interval in simple motor learnings. In *Journal of Experimental Psychology* 67, 1964.
- Weineck, J.: *Optimales Training*. Beiträge zur Sportmedizin. Erlangen 1990⁷.
- Williams, I.D./Rodney, M.: Intrinsic feedback, interpolation and the closed-loop-theory. In *Journal of Motor Behaviour* 10, 1978.
- Wilson, D.M.: The central nervous control of flight in a locust. In *Journal of Experimental Biology* 38, 1961.
- Wise, S.P./Strick, P.L.: Anatomical and physiological organization of the non-primary motor cortex. In *Trends in Neurosciences* 7, 1984.
- Zaciorski, V.M.: Die körperlichen Eigenschaften des Sportlers. In *Theorie und Praxis der Körperkultur* 20 (Beiheft 2), Berlin 1971.

Anmerkung:

Die Quellenangaben im Text beziehen sich in der Regel -sofern sie vor dem Satz-Punkt stehen- auf den jeweiligen Sachverhalt oder den ganzen Satz und -sofern sie nach dem Satz-Punkt stehen- auf den jeweiligen Absatz bzw. die jeweils vorangehenden Absätze.

Abbildungsverzeichnis

Abb.1.....	nach SCHNABEL 1977/S.65
Abb.2.....	nach SCHNABEL 1977/S.66 ¹
Abb.3.....	nach SCHNABEL 1977/S.70
Abb.4.....	nach SCHNABEL 1977/S.71
Abb.5.....	nach SCHNABEL 1977/S.196
Abb.6.....	nach SCHNABEL 1977/S.215
Abb.7.....	nach HIRTZ 1985/S.13
Abb.8.....	nach HIRTZ 1985/S.18 ²
Abb.9.....	nach HIRTZ 1985/S.33
Abb.10.....	nach HIRTZ 1981/S.349 ³
Abb.11.....	nach ROTH 1982/S.23 ⁴
Abb.12.....	nach ROTH 1982/S.26 ⁵
Abb.13.....	nach ROTH 1982/S.53
Abb.14.....	ROTH 1982/S.59 ⁶
Abb.15.....	KAHLE 1984/S.11
Abb.16.....	nach ROTH 1983/S.77
Abb.17.....	nach ILG/SIKORA 1994/S.98
Abb.18.....	nach NÜSKE 1994/S.120
Abb.19.....	nach NÜSKE 1994/S.120
Abb.20.....	nach NÜSKE 1994/S.123
Abb.21.....	n. SCHIELKE/VILKNER 1994/S.173
Abb.22.....	SCHMIDTrf 1979/S.183
Abb.23.....	SCHMIDTrf 1979/S.184
Abb.24.....	nach NOTH 1993/S.29
Abb.25.....	nach NOTH 1993/S.29
Abb.26.....	nach Haken 1991
Abb.27.....	nach Haken 1991
Abb.28.....	nach Haken 1991
Abb.29.....	nach Haken 1991
Abb.30.....	nach Haken 1991
Abb.31.....	nach Haken 1991
Abb.32.....	Haken 1991
Abb.33.....	Blaser 1994/S.280
Abb.34.....	Schöllhorn 1995/S.57

¹ in Anlehnung an BERNSTEIN 1957

² in Anlehnung an Bernstein 1975, Anochin 1973, Tschaidse 1965, Farfel 1977, Schnabel 1977; Galperin 1967, Kossakowski 1971 u.1973

³ in: WEINECK 1990/S.265

⁴ in Anlehnung an GROPLER/THIESS 1976

⁵ aus LÜTGEHARM 1977

⁶ aus HENATSCH 1976

Tabellenverzeichnis

Tab.1.....	nach ROTH 1982/S.79
Tab.2.....	nach ROTH 1982/S.83 ¹
Tab.3.....	nach ROTH 1982/S.84
Tab.4.....	nach ROTH 1982/S.89
Tab.5.....	nach ROTH 1982/S.90
Tab.6.....	n. ILG/SIKORA 1994/S.100
Tab.7.....	nach Blaser 1993/S.279

¹ in Anlehnung an LURIA und HENATSCH

Anhang

Verzeichnis zu Abbildung 13:

Autoren	Untersuchung zu
Hirtz 1977	Ganzkörperliche Koordination unter Zeitdruck
Fleishman/Thomas/Monroe 1961	Richtungsänderungsgeschwindigkeit
Hirtz 1977	Anpassungs- und Umstellungsfähigkeit
Fleishman 1972	Wrist-finger-speed
Fleishman 1972	Aiming
Fleishman 1972	Finger dexterity
Fleishman 1972	Manual dexterity
Fleishman 1972	Speed of arm movement
Cumbee 1970	Two handed agility
Cumbee 1970	Speed of change of direction
Vandenberg 1964 Fleishman 1972 Liemohn/Knapczyk 1974	Genauere Kontrolle grobmotorischer Bewegungen
Liemohn/Knapczyk 1974	Rhythmusfähigkeit
Hirtz 1977	Kontinuität der Bewegung
Hirtz 1977	Visuelle Orientierung
Hirtz 1977	Kinästhetische Orientierung
Fleishman 1972	Multilimb coordination
Cumbee 1970 Liemohn/Knapczyk 1974	Dynamic balance
Cumbee 1970	Timing
Liemohn/Knapczyk 1974	Upper extremity coordination
Fleishman 1972	Arm-hand steadiness
Vandenberg 1964	Alternate hand and leg use

Danksagung

An dieser Stelle sei Prof. Dr. D. Schmidtbleicher für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung der Arbeit gedankt.

Des weiteren danke ich Dr. U. Frick für die Bereitschaft, als zweiter Gutachter zu fungieren.

Dr. W. Schöllhorn gilt der Dank für anregende Gespräche und Informationen zur Systemdynamik.

Für die Bereitstellung von Hard- und Software danke ich Brigitte Breitenbach sowie Christoph Schwarz.

Gedankt sei auch Dr. V. Schlott für seine bereitwillige Unterstützung.

Schließlich danke ich meiner Schwester für Gespräche und Korrekturen sowie meinen Eltern für die Unterstützung während des Studiums.

Bestätigung

Hiermit wird bestätigt, daß vorliegende Arbeit selbständig verfasst wurde, und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt, sowie die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, durch Angabe der Quellen kenntlich gemacht wurden.

Ort, Datum

(J. C. Mugrauer)

Name Jens Christian Mugrauer

Adresse Obernhainer Weg 59
61273 Wehrheim/Ts.

☎ 0 60 81 / 98 01 95

Persönliches

Nationalität Deutscher

Familienstand Ledig

Geburtsdaten 28.12.1964 in Frankfurt/M.

Bildungsgang

1986 Abschluß der schulischen Ausbildung
mit dem Abitur:
- Allgemeine Hochschulreife
- Teilqualifikation zum Bankkaufmann
Humboldtgynasium, Bad Homburg

1986 - 1988 Zivildienst: Altenbetreuung
DRK, Bad Homburg

1988 - Studium an der J.W.Goethe-Universität, Ffm:
Fachbereiche
- Physik
- Sportwissenschaft
- Romanistik