

Aus dem Psychologischen Institut der Deutschen Sporthochschule Köln
Geschäftsführender Leiter: Prof. Dr. J. Kleinert

Kortikale Aktivierung und mentale Repräsentationen von komplexen Bewegungen

- Ein integrativer Ansatz zur Erfassung neuro-kognitiver
Zusammenhänge der Bewegungsorganisation -

von der Deutschen Sporthochschule Köln
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Sportwissenschaft

genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Dipl.-Sportlehrer Wolfgang Engel
aus Landsberg am Lech

Köln (2008)

Erster Referent: Prof. Dr. Thomas Schack

Zweiter Referent: Prof. Dr. Heiko Strüder

Vorsitzende des Promotionsausschusses: Prof'in. Dr. Ilse Hartmann-Tews

Tag der mündlichen Prüfung: 08. September 2009

Eidesstattliche Versicherung

Hierdurch versichere ich an Eides Statt: Ich habe diese Dissertationsarbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt; sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Köln, den 01.12.2008

Dipl.-Sportlehrer Wolfgang Engel

Danksagung

An dieser Stelle ist es angebracht denjenigen Personen Dank zu sagen, ohne die das Zustandekommen dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre. So möchte ich zu allererst meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Thomas Schack danken, der mich gefunden hat und mir diese Arbeit erst ermöglichte. Seine motivierende Unterstützung und fachliche Auseinandersetzung halfen mir, stets den rechten Pfad zu finden. Ebenfalls gebührt Herrn Prof. Dr. Heiko Strüder besonderen Dank für die vertrauensvolle Unterstützung. Dem Psychologischen Institut danke ich für den wissenschaftlichen Austausch und den persönlichen Kontakt. Herrn Kostas Velentzas danke ich für wertvolle Diskussionen und Anstöße. Einen besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. Thomas Heinen für die aufbauenden und kritischen Diskussionen und die Hilfe in dunklen Stunden aussprechen.

Auch meinem persönlichen Umfeld sei ein besonderer Dank ausgesprochen, meinen Sportlern für die Geduld und das Ertragen meiner Gemütszustände. Meinem Bruder im Geiste Herrn Andreas Rester für Langmut und motivierende Unterstützung.

Nicht zuletzt, aber an ganz besonderer Stelle, widme ich diese Arbeit meinem Großvater Herrn Oberschulrat a.D. Karl Meyer, der in mir den kritischen Blick auf die Dinge und das Hinterfragen gefördert hat, und immer für Diskussionen zur Verfügung stand.

Meinem wertvollsten Schatz:
Silke

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PROBLEMSTELLUNG | 1 |
| 2 | THEORETISCHER HINTERGRUND..... | 4 |
| 2.1 | EINLEITUNG | 4 |
| 2.2 | NEUROPHYSIOLOGISCHE ASPEKTE DES GEDÄCHTNISSES UND MOTORISCHE KONTROLLE..... | 4 |
| 2.2.1 | <i>Gedächtnissysteme, Funktionen und Prozesse</i> | <i>5</i> |
| 2.2.2 | <i>Neurophysiologische Grundlagen kortikaler Aktivierung.....</i> | <i>9</i> |
| 2.3 | REPRÄSENTATION VON BEWEGUNGSABLÄUFEN | 17 |
| 2.3.1 | <i>Repräsentation elementarer Bewegungsakte</i> | <i>17</i> |
| 2.3.2 | <i>Bewegungskomplexität und Bewegungsrepräsentation.....</i> | <i>19</i> |
| 2.4 | INTEGRATION | 26 |
| 3 | EIGENER UNTERSUCHUNGSANSATZ | 30 |
| 3.1 | STRUKTUR DES EIGENEN ANSATZES | 31 |
| 3.2 | ABLEITUNG DES EIGENEN FORSCHUNGSMETHODISCHEN VORGEHENS | 32 |
| 3.2.1 | <i>Erfassung mentaler Bewegungsrepräsentationen mittels Struktur-Dimensionaler Analyse - Motorik 34</i> | |
| 3.2.2 | <i>Erfassung kortikaler Verarbeitungsprozesse (EKP).....</i> | <i>47</i> |
| 4 | UNTERSUCHUNG 1: DIFFERENTIELLE UNTERSUCHUNG MENTALER REPRÄSENTATIONEN IM SCHWIMMEN..... | 58 |
| 4.1 | EINLEITUNG | 58 |
| 4.2 | METHODE | 59 |
| 4.2.1 | <i>Versuchspersonen</i> | <i>59</i> |
| 4.2.2 | <i>Bewegungsaufgabe.....</i> | <i>59</i> |
| 4.2.3 | <i>Instrumentarien</i> | <i>68</i> |
| 4.2.4 | <i>Versuchsablauf.....</i> | <i>69</i> |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.3 | ERGEBNISDARSTELLUNG UND DISKUSSION | 71 |
| 4.3.1 | <i>Vergleich zwischen Experten, Novizen und der Referenzstruktur</i> | <i>71</i> |
| 4.3.2 | <i>Individuelle Clusterlösungen und ihr Bezug zur Bewegungsausführung</i> | <i>78</i> |
| 4.3.3 | <i>Expertenrating der Bewegungsqualität</i> | <i>82</i> |
| 4.4 | ZUSAMMENFASSUNG | 83 |
| 5 | UNTERSUCHUNG 2: DIFFERENTIELLE UNTERSUCHUNG LERNBEDINGTER VERÄNDERUNG MENTALER REPRÄSENTATIONEN IM SCHWIMMEN | 85 |
| 5.1 | EINLEITUNG | 85 |
| 5.2 | METHODE | 87 |
| 5.2.1 | <i>Versuchspersonen</i> | <i>87</i> |
| 5.2.2 | <i>Bewegungsaufgabe.....</i> | <i>87</i> |
| 5.2.3 | <i>Instrumentarien</i> | <i>94</i> |
| 5.2.4 | <i>Versuchsablauf.....</i> | <i>94</i> |
| 5.3 | ERGEBNISDARSTELLUNG UND DISKUSSION | 96 |
| 5.3.1 | <i>Prä- und Posttest.....</i> | <i>96</i> |
| 5.3.2 | <i>Individuelle Clusterlösungen.....</i> | <i>106</i> |
| 5.4 | ZUSAMMENFASSUNG | 113 |
| 6 | UNTERSUCHUNG 3: DIFFERENTIELLE ANALYSE KORTIKALER VERARBEITUNG BEI DER WAHRNEHMUNG UNTERSCHIEDLICHER STIMULI (ALLGEMEIN VS. SPORTARTSPEZIFISCH) IM ODDBALL-PARADIGMA | 115 |
| 6.1 | EINLEITUNG | 115 |
| 6.2 | METHODE | 117 |
| 6.2.1 | <i>Versuchspersonen</i> | <i>117</i> |
| 6.2.2 | <i>Instrumentarien</i> | <i>118</i> |
| 6.2.3 | <i>Versuchsaufbau</i> | <i>119</i> |
| 6.2.4 | <i>Versuchsablauf.....</i> | <i>120</i> |
| 6.3 | ERGEBNISSE UND DISKUSSION | 129 |
| 6.3.1 | <i>Reaktionszeiten.....</i> | <i>129</i> |
| 6.3.2 | <i>Ereigniskorrelierte Potentiale – Der P3-Effekt im Oddball-Paradigma</i> | <i>131</i> |
| 6.4 | ZUSAMMENFASSUNG | 137 |
| 7 | UNTERSUCHUNG 4: ZUSAMMENHÄNGE KORTIKALER VERARBEITUNG UND DER STRUKTUR MENTALER REPRÄSENTATIONEN | 139 |
| 7.1 | EINLEITUNG | 139 |
| 7.2 | METHODE | 142 |
| 7.2.1 | <i>Versuchspersonen</i> | <i>142</i> |
| 7.2.2 | <i>Instrumentarien</i> | <i>142</i> |
| 7.2.3 | <i>Aufbau und Ablauf.....</i> | <i>143</i> |
| 7.3 | ERGEBNISDARSTELLUNG UND DISKUSSION | 149 |
| 7.3.1 | <i>Struktur mentaler Repräsentation</i> | <i>149</i> |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7.3.2 | <i>Reaktionszeiten</i> | 152 |
| 7.3.3 | <i>Ereigniskorrelierte Potentiale – Der P3-Effekt im Splitparadigma</i> | 154 |
| 7.4 | ZUSAMMENFASSUNG | 159 |
| 8 | GESAMTDISKUSSION UND AUSBLICK | 161 |
| 8.1 | THEORETISCHE UND METHODISCHE BEZUGSETZUNGEN UND ZENTRALE ERGEBNISSE | 161 |
| 8.2 | EMPIRISCHE AUFGABEN | 164 |
| 8.3 | PRAKTISCHE KONSEQUENZEN | 165 |
| 9 | ZUSAMMENFASSUNG DER ARBEIT | 167 |
| | LITERATUR | 173 |

1 Problemstellung

Eine Psychologie der Leibesübungen als Wissenschaft bedarf der Einschränkung auf die aller Psychologie eigentümlichen Belange, d.h. sie muss wertfrei arbeiten und Ideale weder postulieren noch voraussetzen. (Schulte, 1927, S. 80)

Im Laufe seiner Entwicklungsgeschichte gelang es dem Menschen, immer zielgerichteter seine Existenz zu sichern (Haken, 1995) und seine Bedürfnisse über ein zunehmendes Spektrum von Handlungsfähigkeiten zu reduzieren (z.B. über den Gebrauch von Werkzeug und dem Erschließen neuer Lebensräume). Die Grundlage dafür bietet die Lernfähigkeit und Fähigkeit des Gedächtnisses, zuvor gemachte Erfahrungen wiederzugeben. So wurde im Laufe der Entwicklungsgeschichte des Menschen seine Handlungsfähigkeit vergrößert. War die körperliche Bewegung in der Frühgeschichte des Menschen noch eine lebensnotwendige Handlungskonsequenz zur Reduktion von Bedürfnissen, so ist sie heute vielmehr für einen Großteil der Menschheit freizeithliches Verhalten. Die Plastizität des menschlichen Gehirns und des Gedächtnisses bildet die Basis, den zunehmenden Bedürfnissen des Menschen mit neuen Bewegungshandlungen zu begegnen.

Bewegung wird heute aus verschiedenen Perspektiven betrachtet. In der vorliegenden Arbeit soll ihre Betrachtung aus kognitionswissenschaftlicher Sicht erfolgen, mit der Besonderheit, dass Bewegungen gewählt werden, die nicht unter alltäglichen Bedingungen stattfinden. Der besondere Schwerpunkt wird dabei auf der Betrachtung von Organisationsstrukturen von mentalen Repräsentationen sportlicher Bewegung und kortikaler Aktivierung von Wissensbeständen mit sportlichem Bezug liegen.

Als Betrachtungsgegenstand werden Bewegungen im Wasser untersucht (Bewegungen des Schwimmens). Der Bewegungsraum Wasser stellt eine Besonderheit innerhalb der Gebiete dar, die sich der Mensch für seine Bewegungskultur und somit auch zur Reduktion seiner Bedürfnisse erschlossen hat. Jeder, der sich im Wasser bewegt, muss die Bewegung komplett neu erlernen. Dieses bedeutet, dass sich in den Bewegungen des Schwimmens kaum Einflüsse aus anderen Bewegungsformen, die an Land erworben wurden, finden. Somit können eindeutige Querverbindungen zu *Earthbound-movements* weitestgehend ausgeschlossen werden und sind auch beim Schwimmen nicht erwünscht. Damit werden die kortikalen

Relationen dieser Bewegungsformen besonders interessant, da sie eine Klasse von Bewegungen darstellen, die a) nur mit elementaren Grundfertigkeiten an Land in einen Zusammenhang stehen, b) in einem völlig anderen Bewegungsraum stattfinden und c) im Vergleich zur Bewegung an Land völlig unterschiedliche Bewegungsformen und Antriebskonzepte berühren. D) werden sensomotorische Rückmeldungen eindeutig in die Bewegung mit einbezogen und benötigt, da ohne sie eine zielgerichtete Bewegungshandlung nicht stattfinden könnte (z.B. Druckempfinden an der palmaren Seite der Hand zur Vortriebserzeugung).

Arbeiten von Narciss (1993) geben einige wichtige Ansätze zur Klärung der Sachverhalte mentaler Repräsentationen im Schwimmen wieder und schaffen einen biomechanischen Zusammenhang zwischen angenommener mentaler Repräsentation und erhobenen biomechanischen Daten. Narciss weist darauf hin, dass bis dato kaum befriedigende Methoden zur Untersuchung mentaler Repräsentationen entwickelt wurden. Bis auf Berthold, Engel und Schack (2004) hat sich noch keine Arbeit explizit mit der Struktur mentaler Repräsentationen im Schwimmen auseinandergesetzt. Dieses soll in der folgenden Arbeit geschehen. Dabei soll ein Link geschaffen werden zu den psychophysiologischen Maßen während der Aktivierung mentaler Repräsentationen spezifischer Bewegungshandlungen im Schwimmen.

Zunächst wird in Kapitel 2 der theoretische Hintergrund wiedergegeben, der dieser Arbeit zu Grunde liegt. Dabei werden neurophysiologische Aspekte von Bewegungshandlungen sowie Annahmen zu deren mentalen Repräsentationen in den Fokus der Betrachtung rücken. In einem folgenden Schritt wird der theoretische Hintergrund integrierend zusammengefasst. In Kapitel 3 wird der eigene Untersuchungsansatz dargestellt. Die Besprechung der Untersuchungen erfolgt in den Kapiteln 4 bis 7. Der Schwerpunkt von Kapitel 4 liegt in der Darstellung einer differentiellen Untersuchung mentaler Repräsentationsstrukturen im Schwimmen, mit Hilfe der Struktur-Dimensionalen-Analyse-Motorik (SDA-M). Im folgenden Kapitel (Kapitel 5) wird die lernbedingte Veränderung mentaler Repräsentationsstrukturen in den Fokus der Betrachtung rücken, die auch hier mit der SDA-M ermittelt werden. Kortikale Aktivierung durch spezifisches Stimulusmaterial wird im Kapitel 6 thematisiert. In diesem Kapitel werden psychophysiologische Maße in den Mittelpunkt der Untersuchung gestellt, die während der Lösung einer kognitiven Aufgabe registriert werden, die sich mit sportbezogenen Inhalten beschäftigt. Die experimentellen Kapitel schließen die Zusammenführung von SDA-M und mit dem Ermitteln psychophysiologischer Maße ab. Die in Kapitel 7 beschriebenen Untersuchungen verknüpfen die mentalen Repräsentationsstrukturen mit

psychophysiologischen Maßen. Die Gesamtdiskussion der Ergebnisse und Ausblick auf künftige Forschungsvorhaben wird in Kapitel 8 geleistet. Die Arbeit schließt im Kapitel 9 mit einer zusammenfassenden Darstellung der Ausführungen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Einleitung

Neben der Tatsache, dass das Gehirn im Laufe der Entwicklungsgeschichte immer größer wurde, hat es sich immer besser an die Bedürfnisse der Lebewesen angepasst (Braitenberg, 1994; Hoffrage & Vitouch, 2002). Klix (1971; 1980) führt dazu aus evolutionspsychologischer Sicht aus, dass die strukturell funktionale Entwicklung des menschlichen Gehirns aufgrund des Selektionsdruckes während der Evolution zustande gekommen ist. Mit dem Ziel einer Reduktion von Bedürfnissen, entstand unter der Wechselwirkung mit Verhaltensentscheidungen zur Regulation, eine Basis zur Entwicklung von Verhaltensmotivationen. Handlungen zur Reduktion der Bedürfnisse können somit als positiv oder entsprechend als nicht erfolgreich bewertet werden. Vorgegangene Handlungen sind aufgrund der Gedächtnisstruktur wieder reaktivierbar, wobei situationsabhängige Merkmale den Rahmen für eine Verhaltensentscheidung bilden.

Im Folgenden soll das Gehirn und damit auch das Gedächtnis mit seinen Strukturen und Hierarchien näher betrachtet werden. Es soll der für diese Arbeit wichtige Sachstand der Gedächtnisorganisation überblickartig wiedergegeben werden. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Betrachtung wird darin liegen, die neurophysiologischen Mechanismen der kortikalen Informationsverarbeitung mit Modellannahmen über die gedächtnisgemäße Repräsentation von Bewegungsabläufen in Zusammenhang zu bringen. Diese Schwerpunktsetzung dient den weiteren Ausführungen und der methodischen Umsetzung der geplanten Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit als wesentliche Grundlage.

Abschnitt 2.2 beschäftigt sich mit den neurophysiologischen Aspekten des Gedächtnisses. In Abschnitt 2.3 werden dann die Repräsentationen von Bewegungsabläufen betrachtet. Abschnitt 2.4 fokussiert abschließend auf die Integration der beiden vorangegangenen Abschnitte.

2.2 Neurophysiologische Aspekte des Gedächtnisses und motorische Kontrolle

Die motorische Kontrolle beruht grundsätzlich auf zwei Prozessen, die in der Regel parallel ablaufen: Regelung und Steuerung (Konczak, 2002, 2003). Regulative Prozesse benötigen sensorische Rückmeldungen von einem oder mehreren Analysatorensystemen. Steuerungsprozesse beruhen auf einem Plan, der mit den regulativen Prozessen das

beobachtbare Ergebnis einer willkürlichen Bewegung ausmacht. So sind in diesem Zusammenhang die beteiligten Gedächtnissysteme von Interesse, auf denen Afferenzen und Efferenzen verarbeitet werden. In Abbildung 1 sind die Zusammenhänge zwischen den Gedächtnissystemen und Steuerungs- und Regulierungsprozessen schematisch dargestellt.

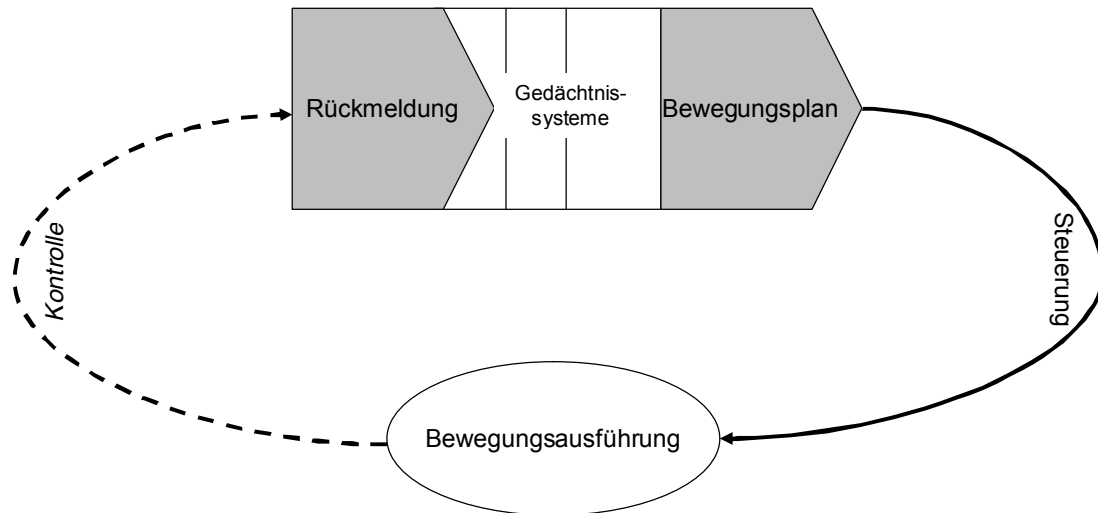


Abbildung 1 Schema motorischer Kontrolle und Steuerung unter Einbeziehung der Gedächtnissysteme, die an Regulation und Steuerung einer willkürlichen Bewegung beteiligt sind. Die gestrichelte Linie deutet auf die Tatsache hin, dass eine Bewegungsausführung auch ohne Rückmeldung erfolgen kann (Open-loop control).

Im Folgenden sollen die beteiligten Gedächtnissysteme mit ihren Funktionen und Prozessen kurz betrachtet werden (Abschnitt 2.2.1). Anschließend wird der Blick auf die neurophysiologischen Vorgänge bei der kortikalen Aktivierung im Zusammenhang mit Bewegungshandlungen erweitert (Abschnitt 2.2.2).

2.2.1 Gedächtnissysteme, Funktionen und Prozesse

In Hinblick auf die Leistung, die unser Gedächtnis erbringt, treten drei Ebenen in den Focus der Betrachtung: Die Einspeicherung, die Organisation und der Abruf von Informationen (Krause, 2000; Markowitsch, 2002). Beteiligt an diesen Ebenen sind verschiedene Gedächtnissysteme und an den kognitiven Leistungen des menschlichen Gehirns werden die Funktionen des Gedächtnisses determiniert (Schwarz, 1996). Diese Gedächtnissysteme können eindimensional auf einer Zeitachse eingeteilt werden. Das sensorische Gedächtnis umfasst eine Zeitspanne von wenigen hundert Millisekunden (Buchner & Brandt, 2002). Das

Arbeitsgedächtnis lässt sich auf eine Zeitspanne von 20 bis 40 Sekunden bis maximal wenige Minuten eingrenzen. Hinsichtlich seiner zeitlichen Standhaftigkeit ist das Langzeitgedächtnis auf der Zeitachse der langzeitigste Speicher, mit einer nahezu unerschöpflichen Speicherkapazität und einer lebenslangen Speicherdauer (Markowitsch, 2002).

Als erstes und unterstes Gedächtnissystem dient das sensorische Gedächtnis (Priming-Gedächtnis) als kurzzeitiger Speicher für die perzeptiven Informationen, die die Analytoren registrieren (Buchner & Brandt, 2002). Es ist dem Arbeitsgedächtnis vorgeschaltet, wird allerdings auch von einigen Autoren dem Arbeitsgedächtnis zugeordnet (Buchner, 2003). Buchner und Brandt (2002) betrachten das sensorische Gedächtnis als Schnittstelle zwischen Gedächtnis und Wahrnehmung. In ihm werden die von den Analytoren einlaufenden sensorischen Informationen kurzfristig für die weitere Verarbeitung bereitgehalten (Eysenck & Keane, 2000). Die darin ablaufenden Prozesse leisten in erster Linie die Informationsaufbereitung für das Arbeitsgedächtnis. Die Dauer des Verbleibs von Informationen im sensorischen Gedächtnis ist sehr kurz (Buchner & Brandt, 2002; Munzert, 2001). Prozesse der Musterextraktion, Erkennung und Identifikation des Reizes, Mustererkennung und Benennung laufen im sensorischen Gedächtnis sehr schnell ab (Latash, 2008). So sind sog. Bindingprozesse schon auf vorbewusster Ebene möglich (Birbaumer & Schmidt, 2004). Die Enkodierung stellt eine der wichtigsten Aufgaben des sensorischen Gedächtnisses dar, ist dieses doch die Informationsaufbereitung auf der Basis des im Langzeitgedächtnis gespeicherten Wissens. Da das sensorische Gedächtnis einen sog. sensorischen *print* der einlaufenden Afferenzen wiedergibt, besitzt es eine sehr große Kapazität.

Für die kurzfristige Aufrechterhaltung und die Verarbeitung von Informationen tritt das Arbeitsgedächtnis in den Vordergrund (Baddeley, 1995; Baddeley & Hitch, 1974). Mit einer Kapazität von 7 ± 2 Items (Elemente) ist das Arbeitsgedächtnis recht klein (Miller, 1956; Pickenhain, 2003). Diesem Teil des Gedächtnisses lassen sich drei Subsysteme zuordnen. Die artikulatorische Schleife, die für das kurzfristige Aufrechterhalten und Verarbeitung von verbalem Material verantwortlich ist (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1974). Ein weiteres Subsystem ist der visuell-räumlichen Notizblock, der für die kurzzeitige Aufrechterhaltung und Verarbeitung von visuellen Materialien zuständig ist. Das dritte Subsystem wird als zentrale Exekutive gekennzeichnet (Baddeley, 1996). Die Subsysteme stellen ein aufmerksamkeitsbasiertes Kontrollsystem dar, welches in der Lage ist, zielgerichtete Manipulationen von Informationen vorzunehmen und ebenso ist es in die Handlungskontrolle

involviert. Für alle Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses gilt, dass ihre Kapazität klein und zeitlich begrenzt ist. Auf der Basis des Arbeitsgedächtnisses laufen Prozesse der Gruppenbildung (Chunking), der Assoziationen und der Organisation von Informationen ab. Berti (2001) fügt dem Arbeitsgedächtnis additiv auch eine Relevanz bei der Lösung von Bewegungsaufgaben zu (siehe auch: Adams & Dijkstra, 1966; Wilberg & Salmela, 1973). Das Arbeitsgedächtnis steht in enger Interaktion mit dem Langzeitgedächtnis.

Für eine längerfristige Speicherung mit nahezu unbegrenzter Kapazität zeichnet sich das Langzeitgedächtnis (LZG) verantwortlich (Krause, 2000). Das LZG und die darin gespeicherten Kenntnisse bilden die Grundlage für unsere allgemeine Leistungsfähigkeit (Schwarz, 1996). Beim Gebrauch dieses Teils des Gedächtnisses können grundsätzlich zwei Formen unterschieden werden. Auf der einen Seite unterscheidet man den expliziten Gedächtnisgebrauch, dem bewusste Operationen zu Grunde liegen und bei dem Informationen aus dem Gedächtnis erhalten bleiben. Auf der anderen Seite wird beim impliziten Gebrauch des Gedächtnis die Informationen von unbewusst ablaufenden Vorgängen enkodiert oder wiederhergestellt (Graf & Schacter, 1985; Zimbardo & Gerrig, 2004). Nach Anderson (1996) sind strukturelle Unterscheidungen des Gedächtnisses in einen deklarativen und einen prozeduralen Anteil nötig.

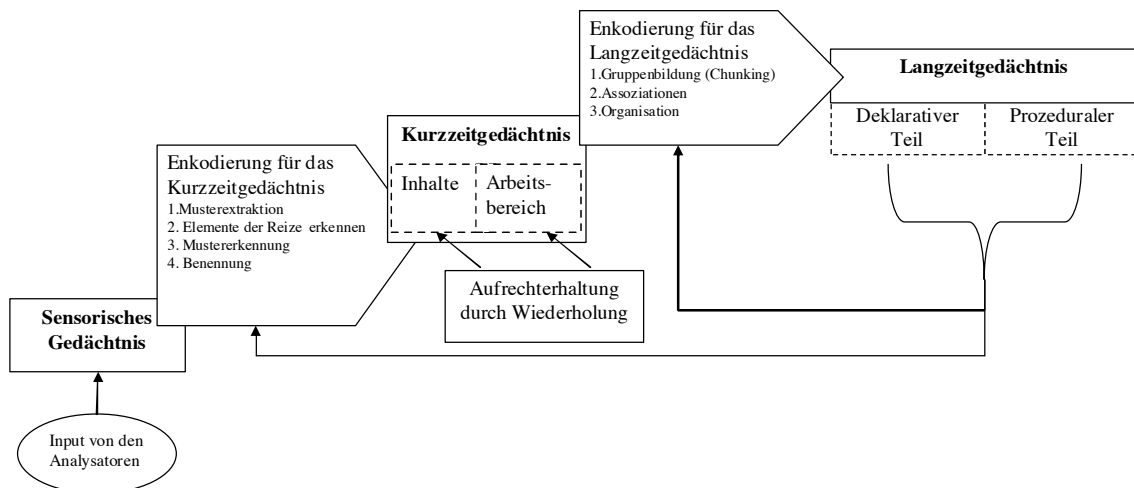


Abbildung 2 Das Gedächtnis als Informationsverarbeitungssystem. Die eckigen Felder stellen die Struktur (Verarbeitungsstadien) des Gedächtnisses und die pfeilartigen Felder die ablaufenden Prozesse dar (Birbaumer & Schmidt, 2004).

Der prozedurale Anteil des Gedächtnisses ist der Anteil, in dem Prozeduren gespeichert werden, eben wie man sich Dinge merkt und wie man Dinge tut (Magill, 2007). In diesem Teil des Gedächtnisses sind ebenso Routinehandlungen und motorische Fertigkeiten repräsentiert (Birbaumer & Schmidt, 2004).

In dieser Arbeit soll vorerst keine Unterscheidung der beiden Langzeit-Gedächtnissysteme (deklarativ / prozedural) erfolgen. So wird nach Anderson (1996) die Unterscheidung der Gedächtnissysteme in erster Linie auf der Basis ihrer Verbalisierbarkeit getroffen. Schack (2002) führt aus, dass Bewegungswissen genauso wie Objektwissen verbalisierbar ist. So kann Bewegungswissen auf der einen Seite als Prozedur der Handlung angesehen werden, aber auf der anderen Seite als Inhalt wissensbasierter Repräsentationen, eben der deklarativen Wissensstrukturen. Hier ist zunächst keine eindeutige Unterscheidung der Wissenssysteme zu leisten. So soll das LZG vielmehr als ein System angesehen werden, auf dem Prozesse der Einspeicherung und der Abfrage verortet sind. Krause (2000) betont bei den verschiedenen funktionalen Ebenen des Gedächtnisses den funktionalen Aspekt der Modalitäten. So spielt beim funktionalen Ansatz die Verarbeitungstiefe (Craik & Lockhart, 1972) eine wichtige Rolle. Demnach werden Informationen besser behalten, je tiefer sie verarbeitet werden. Somit ergibt sich für einen strukturell-funktionalen Ansatz (Engelkamp, 1990) eine Verknüpfung von Oberflächen- und Tiefenrepräsentation mit ihren spezifischen Modalitäten als Grundlage für den Wissensabruf. Dieser Ansatz wird von Schack (2002) aufgenommen und in ein vier Ebenen umfassendes Modell überführt. Dieses Modell beschäftigt sich speziell mit der kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen und nimmt für sich in Anspruch, eine Integration von Kontrollebene sowie von Repräsentationsebene zu leisten und wird im weiteren Verlauf der Darstellung noch vorgestellt.

Zunächst sollen die neurophysiologischen Grundlagen kortikaler Aktivierung näher betrachtet werden. Bei der Ausführung komplexer motorischer Handlungen und somit beim Zugriff auf Bewegungswissen wird die Informationsverarbeitung im Gedächtnis zu einem wichtigen Bestandteil des Gelingens der entsprechenden motorischen Aktion (Schumann, 1996).

„... Wir gehen von der Hypothese aus, dass in dem EEG auch Informationen kortikaler und subkortikaler Prozesse kodiert sind, die im Zusammenhang mit der Realisierung einer sportlichen Bewegungsleistung ablaufen. ...“ (Schumann, 1996, S. 74)

Zahlreiche Untersuchungen belegen die Hypothese von Schumann. Jeannerod ordnet Bewegungsvorstellung und Bewegungshandlung ein isomorphes Verhältnis zu (Jeannerod, 1994). In positronenemissionstomographischen Untersuchungen (PET) konnten neurophysiologische Korrelate von simulierten Eigenbewegungen und Fremdbewegungen gefunden werden (Ruby & Decety, 2001).

2.2.2 Neurophysiologische Grundlagen kortikaler Aktivierung

Die elektrischen Vorgänge bei der Erregungsübertragung von einer Nervenzelle auf eine andere durch Synapsen stellt die Grundlage der elektroencephaleografischen Ableitung dar. Neurotransmitter übernehmen die Erregungsübertragung. Diese chemischen Botenstoffe werden bei der Erregungsübertragung und der damit einhergehenden Vorgänge ausgeschüttet. Daraus folgen transmembranöse Ionenströme, die Schwankungen des Ruhemembranpotentials als postsynaptische Potentiale (PSP) am Zielneuron bewirken. Somit wird am Zielneuron das Ruhepotential erhöht (Hyperpolarisation), was einer Hemmung der Aktivität des Neurons gleichkommt. Daher werden solche postsynaptische Potentiale auch als inhibitorische postsynaptische Potentiale (IPSP) bezeichnet. Die postsynaptischen Potentiale, die das Ruhemembranpotential verringern (Depolarisierung), erhöhen die Aktivität des Neurons und werden exzitatorische postsynaptische Potentiale (EPSP) genannt (Birbaumer & Schmidt, 2004; Hegerl, 1998; Seifert, 2005; Zschocke, 2002).

An kortikalen Pyramidenzellen bewirken die vorwiegend an apikalen Dendriten entstehenden EPSP einen Einstrom positiv geladener Ionen in das Zellinnere und einen korrespondierenden Ausstrom am proximalen Teil. Relativ gesehen entsteht hierdurch an der Einstromzone eine negative Ladung des Extrazellularraumes. Gleichzeitig findet in der Ausstromzone eine Positivierung des Extrazellularraums statt. Die Ladungsdifferenz bewirkt extrazelluläre Ionenbewegungen, die sich über weite Bereiche ausbreiten und den kortikalen Feldpotentialen zugrunde liegen. Deren Stromfluß verläuft parallel zu den aufsteigenden Dendriten der Zelle (Hegerl, 1998; Zschocke, 2002).

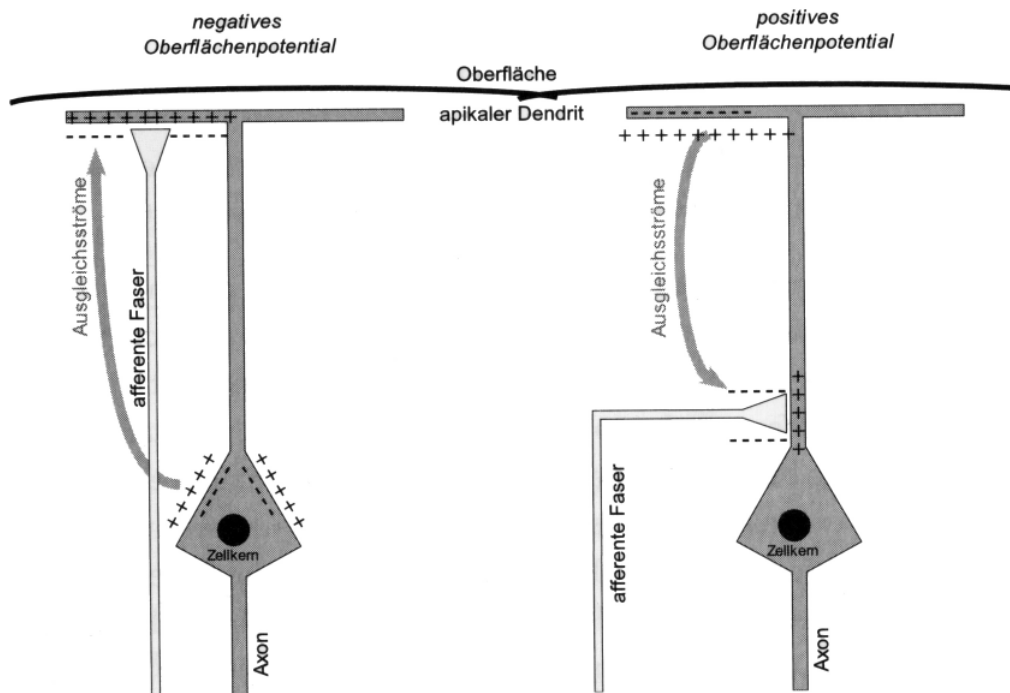


Abbildung 3 Die Pyramidenzellen des Neokortex sind senkrecht zur Kortexoberfläche ausgerichtet. Die synchrone (De-) Aktivierung ganzer Zellhaufen löst die elektrischen Ströme aus, die als EEG gemessen werden (aus Seifert, 2005). Weitere Erläuterungen im Text.

Umgekehrt verläuft der Vorgang bei den IPSP. Inhibitorische Synapsen, die überwiegend in der Nähe des Zellsomas zu finden sind, bewirken einen Ausstrom positiv geladener Ionen. Die Folge ist eine Hyperpolarisierung des Ruhemembranpotentials mit nachfolgender Positivierung des umliegenden Extrazellularraumes (Nicholls, Martin, & Wallace, 2002). Ströme die positiv geladenen Ionen im apikalen Bereich der Nervenzelle zurück, führt das zur Negativierung des Extrazellularraumes. Somit sind die Potentialschwankungen durch IPSP und EPSP durchaus miteinander vergleichbar, allerdings sind im EEG die mehr apikal lokalisierten EPSP von größerer Bedeutung. Daher wird das EEG zum überwiegenden Teil durch die Aktivität exzitatorischer Synapsen bestimmt (Hegerl, 1998).

Zu messbaren Potentialschwankungen an der Kopfoberfläche kommt es nur, wenn ein Großteil der Neurone eines differenzierten Kortexareals gleichzeitig aktiv ist. Durch die kolumenartigen Anordnung der Nervenzellen und der Summation der elektrischen Aktivität der einzelnen Zellen kommt es dann zu einem messbaren Erfolg. Dabei ist die radiale Anordnung der Feldpotentiale zur Kortexoberfläche wichtig, da nur diese an der Kopfoberfläche abgeleitet werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufgabe der postsynaptischen Potentiale darin besteht, die Auslösung (durch EPSP) oder die Verhinderung (durch IPSP) eines Aktionspotentials am Zielneuron zu leisten. Von besonderem Stellenwert ist hier das Zusammenwirken vieler PSP, welche die Aktion des Zielneurons bestimmt.

Das Prinzip der synaptisch übertragenen Erregung bietet den Vorteil einer globalen Beeinflussbarkeit der kortikalen Funktion durch hormonelle und biochemische Modulation (Hegerl, 1998). Neuere Arbeiten beschäftigen sich gezielt mit der biochemischen und auch hormonellen Steuerung von Bewegungen (Strüder, Kinscherf, Diserens, & Weicker, 2001).

Neurologische Basis

Alle die oben beschriebenen Prozesse finden auf der Basis der Annahme eines umfangreich vernetzten Neocortex und anderer Gehirnstrukturen statt. Auf der Basis der Forschungsarbeiten von Brodmann (1909) und Fodor (1983) ist bekannt, dass der Kortex funktional gegliedert ist und sich in seinen Strukturen unterscheiden lässt. Durch seine umfangreichen neuronalen Verknüpfungen erinnert seine anatomische Struktur an ein Gitter oder ein Netz (Birbaumer & Schmidt, 2004; Spitzer, 2000).

Das menschliche Gehirn ist in verschiedene Teile gegliedert. Oberhalb des Rückenmarks schließt sich der Hirnstamm mit dem Brückenhirn und dem Mittelhirn an. Darauf folgt das Zwischenhirn, welches auch zum Hirnstamm gezählt wird. Über dem Hirnstamm wölbt sich das Endhirn, das ca. 80% des gesamten Gehirns umfasst. Zwischen Endhirn und Hirnstamm befindet sich das limbische System (Birbaumer & Schmidt, 2004; Latash, 2008). Dieses ist im Grunde genommen nur eine Zusammenfassung unterschiedlich strukturierter Hirnbezirke, die aus verschiedenen Kernen bestehen. Das Endhirn setzt sich aus dem Großhirnmantel und den tiefer liegenden Endhirnkernen zusammen (vgl. Abbildung 4).

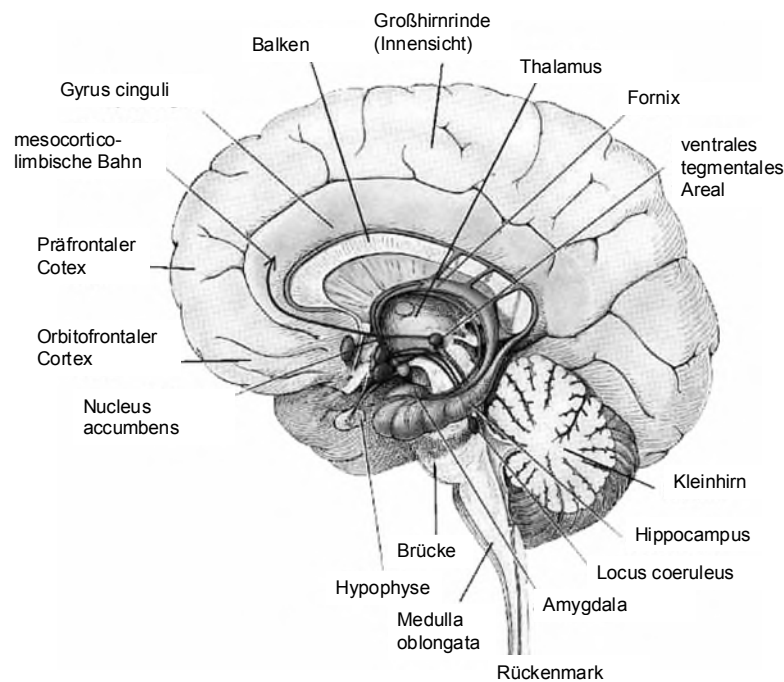


Abbildung 4 Neuroanatomische Gliederung des Gehirns (nach Roth, 2001).

Man unterscheidet zwei Hemisphären; rechte und linke Hemisphäre, die über den sog. Balken (Corpus callosum) Querverbindungen besitzen. Sie sind aber auch über das limbische System miteinander verbunden. Hinter dem Brückenhirn und dem Zwischenhirn liegt das Kleinhirn (Cerebellum), das ebenfalls in eine rechte und eine linke Hemisphäre unterteilt wird. In ihm treffen Signale peripherer Sinnesorgane mit akustischen und visuellen Signalanteile aus dem Hirnstamm aufeinander (Birbaumer & Schmidt, 2004). So werden Signale aus dem Innenohr (Gleichgewicht) und aus den Muskelspindeln mit Signalen aus der Großhirnrinde zusammengeführt. Man nimmt an, dass das Kleinhirn mit allen motorischen Zentren im Nebenschluss verbunden ist (Konczak, 2002). Mit dieser Vielzahl an Verbindungen ist das Kleinhirn an der räumlich-zeitlichen Gliederung von Bewegungsmustern beteiligt. In ihm findet eine Koordinierung der Steuerungsabläufe und Regelprozesse der motorischen Zentren statt. Auffällig ist, dass eine große Zahl an afferenter Nervenbahnen in das Kleinhirn laufen, hingegen nur wenige efferente Bahnen hinaus führen (Tomasch, 1968).

Funktionelle Innervation

Die Wichtigkeit neuronaler Verknüpfungen stellt sich immer dann dar, wenn ihre synaptischen Verbindungen in großen Verbänden getrennt werden. Wesentliche Erkenntnisse über die Funktionsweise des menschlichen Gehirns konnte über seine Verletzungen oder

spezifische Ausfallerscheinungen geleistet werden. So ist bekannt, welche Anteile des Gehirns sich hemmend oder fördernd auf bestimmte cerebrale Vorgänge und damit folglich auf motorische Vorgänge auswirken. Für die motorischen Vorgänge sind das Cerebellum, der Thalamus, die Basalganglien (Corpus striatum, Globus Pallidus, Nucl. caudatus, Putamen, Nucl. subthalamicus, Substantia nigra) und einige Anteile des Neokortex von großer Bedeutung. Das Striatum gilt z.B. als eine der zentralen Schaltzellen für motorische Impulse (Poeck & Hacke, 2001).

Weg der Innervation

Die Entscheidung, eine Bewegung auszuführen oder in einen situativen sozialen Kontext einzupassen, entsteht im frontalen Kortex (Beyer & Pöhlmann, 1994). Geplante Bewegungen werden durch die Aktivierung der sensomotorischen Areale im Neokortex verwirklicht (Konczak, 2003). Für eine zielgerichtete motorische Handlung nimmt der Innervationsmechanismus stets im parietalen Kortex seinen Ausgang. Hier werden unspezifische Bewegungsentwürfe, für refferente motorische und visuokinetische räumliche Funktionen über sprachliche oder visuelle Kommandos initiiert und ins prämotorische Areal übertragen (Carlson, 2004). Die Aktivierung des parietalen Kortex erfolgt aus den Assoziationsarealen über corticocorticale Projektionen aus dem Wernickeareal auf dem Temporal- bzw. aus den visuellen Assoziationsarealen auf den Okzipitallappen (Nicholls et al., 2002). Im linkshemisphärischen Areal erfolgt einerseits die Detailplanung der auszuführenden Bewegung (z.B. zeitliche Abfolge von Bewegungssequenzen, hierarchische Ordnung), andererseits geht von ihm die Innervation des prämotorischen Areals der gegenüberliegenden, rechtsseitigen Hemisphäre aus. Die supplementärmotorischen Areale fügen nun weitere Informationen für die Bewegungssequenzierung hinzu und projizieren anschließend gemeinsam mit den prämotorischen Arealen in den motorischen Kortex der jeweiligen Hirnhälfte. Die motorischen Kortizes übernehmen in erster Linie die Feinkoordination der distalen Körpermuskulatur (Poeck & Hacke, 2001). Eine besondere Aufgabe kommt den tiefer liegenden Hirnstrukturen zu. Die Basalganglien spezifizieren die Informationen aus dem assoziativen Kortex in ein räumlich und zeitlich organisiertes Impulsmuster (Strüder et al., 2001). Das Striatum, ein Teil der Basalganglien, empfängt Afferenzen aus der gesamten Großhirnrinde. Somit sind die Basalganglien ein wichtiges Bindeglied zwischen assoziativem Kortex und dem motorischen Kortex (Campbell, 1997; Latash, 2008; Strüder et al., 2001). Zusammen mit den Informationen aus dem motorischen Kortex und den Basalganglien entsteht ein Bewegungsplan, der durch Informationen aus dem

Cerebellum weiter spezifiziert wird (Konczak, 2003). Das Cerebellum projiziert über den Thalamus in den Motorcortex, insbesondere Informationen, die für die Verbindung zwischen Stütz- und Zielmotorik wichtig sind oder leitet direkt zu den motorischen Zentren des Hirnstammes (Campbell, 1997). Über das Rückenmark wird nun der „Bewegungsplan“ an die beteiligten Muskeln bzw. Muskelgruppen weitergeleitet.

Der Thalamus bildet eine wichtige Relaisstation für einlaufende sensorische Informationen, die zur Großhirnrinde gesandt werden (Campbell, 1997). Die wichtige thalamische Funktion wurde schon bei Untersuchungen zum mentalen Training belegt (Decety, 1995). So konnte auch ein signifikanter Zusammenhang zwischen Thalamusaktivität und EEG-Untersuchungen (EKP / P3a) gefunden werden (Klostermann et al., 2006). In einer Untersuchung zur Thalamusaktivität konnte gezeigt werden, dass einer P3a-Welle im EKP immer eine erhöhte Thalamusaktivität vorausgeht. Das Striatum empfängt einen Teil der sensorischen Informationen, wodurch die Basalganglien an der Überwachung der aktuell ablaufenden Bewegung beteiligt sind. Die Basalganglien beeinflussen die Bewegung vor allem hinsichtlich der Bewegungsamplitude, -richtung und -geschwindigkeit sowie der einzusetzenden Kraft. Die neocorticalen Areale erhalten dann diese Parameter vom Pallidum (Teil der Basalganglien) über die oben schon beschriebene Umschaltstation, den Thalamus. Einen wichtigen Anteil an der Bewegungsgeneration hat das Cerebellum (Campbell, 1997; Magill, 2007). Das Cerebellum bezieht auch Afferenzen, die es im Wesentlichen aus den assoziativen Arealen sowie der Sensorik erhält. Die Hauptaufgabe besteht allerdings darin, Gleichgewichts- sowie die Haut- und Tiefensensibilität zu verarbeiten und wiederum über den Thalamus das Ergebnis dem Motorkortex zur Verfügung zu stellen (Stegemann, 1991). Das Cerebellum besitzt Aufgaben bei der Steuerung und Korrektur stützmotorischer Anteile von Haltung und Bewegung (Haltung, Tonus, Körpergleichgewicht) sowie bei der Kurskorrektur langsamer zielmotorischer Bewegungen und deren Koordination mit der Stützmotorik (Beyer & Pöhlmann, 1994). Weiter ist es für die reibungslose Durchführung der vom Großhirn entworfenen schnellen Zielmotorik und für die Koordination zielmotorischer Aufgaben zuständig (Birbaumer & Schmidt, 2004). In Abbildung 5 sind vereinfacht die motorischen Subsysteme dargestellt. Dabei treten die Funktionsschleifen zwischen Großhirnrinde und Basalganglien und Kleinhirn wie oben bereits beschrieben deutlich heraus. Es gilt bei allen kortikalen Prozessen zu beachten, dass ihnen keine serielle Verarbeitungsprozedur zugrunde liegt. Prozesse der motorische Regelung und Steuerung laufen vielmehr parallel ab (Konczak, 2003).

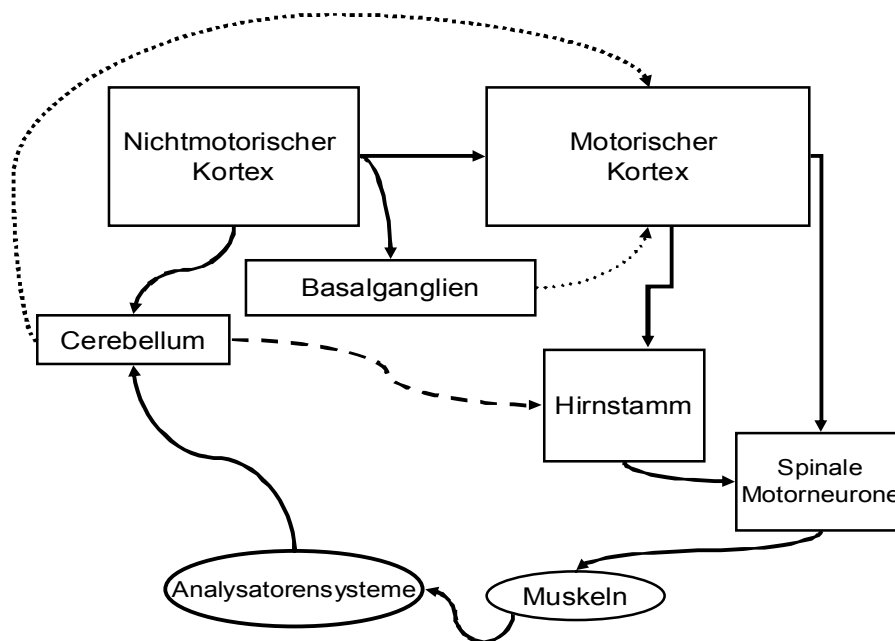


Abbildung 5 Die hierarchische Darstellung motorischer Subsysteme (nach Konczak, 2003). Weitere Erläuterungen im Text.

Der aufrechte Gang sowie der aufrechte Stand erfordern eine besonders feine Abstimmung der Stützmotorik. Diese Abstimmung geschieht über posturale und antizipatorische posturale Synergien. Ähnlich der reflektorischen Steuerung der Muskulatur arbeiten die posturalen Synergien der Bein- bzw. Rumpfmuskulatur (Birbaumer & Schmidt, 2004). Allerdings arbeiten sie mit einer Latenzzeit von 100-150ms, weshalb sie auch als „long loop reflexes“ bezeichnet werden. Die ausgeprägte Latenzzeit gibt einen Hinweis für eine umfangreiche Verrechnung im ZNS. So wird z.B. ohne Beteiligung des Bewusstseins verhindert, dass der Mensch im Stand umfällt. Bei der Bewegung arbeitet dieses System sogar antizipatorisch. Ohne Verzögerung wird die Stützmotorik so gesteuert, dass die Zielbewegung nicht gestört wird und Störungen des Gleichgewichts so klein wie möglich gehalten werden. Untersuchungen lassen die Annahme zu, dass Mustergeneratoren auf supraspinaler Basis arbeiten, die stereotype Schreitrhythmen ohne notwendige Detailplanung auf zerebraler Ebene zulassen.

Bewegungsausführung

Sind die aus den Basalganglien, aus dem Cerebellum sowie über corticocorticale Projektionen einfließenden Informationen in den neocorticalen motorischen Feldern verarbeitet, so erfolgt die Initiierung der Bewegungsausführung. Während das prämotorische sowie das

supplementär-motorische Areal vorwiegend die motorischen Zentren des Hirnstammes innervieren, entspringt im primärmotorischen Cortex die so genannte „Pyramidenbahn“, deren Axone den Hirnstamm ohne weitere Verschaltung durchlaufen, bis ins Rückenmark ziehen und dort direkt auf Motoneuronenkerne einwirken. Alle efferenten Bahnen der motorischen Areale geben Seitenäste an den Thalamus ab, dem damit für die weitere Informationsverarbeitung eine Efferenzkopie über die motorischen Kommandos zur Verfügung steht. Sowohl in der Pyramidenbahn als auch in den extrapyramidalen Efferenzen erfolgt im Hirnstamm eine Überkreuzung eines Großteils der Fasern - bei letzteren nach Umschaltung auf Hirnstammneurone. In beiden Fällen führt diese Überkreuzung zu einer Innervation der kontralateralen Muskelgruppen. An dieser Stelle lässt sich also zusammenfassend festhalten, dass die Informationsweiterleitung über vier Ebenen gegliedert ist.

Ratey (2004) schafft in diesem Punkt eine schöne Metapher. Er beschreibt die hierarchische Organisation des motorischen Systems als ein Haus mit vier Stockwerken, die über ein Treppenhaus verbunden sind. Im Keller mit Hirnstamm und Rückenmark sind innere unveränderliche Vorgänge wie Reflexe und Herzschlag angesiedelt. Ein Stockwerk darüber, im Erdgeschoß finden sich Basalganglien und Cerebellum. Sie üben eine steuernde Funktion für das darunter liegende Stockwerk aus und informieren die höheren Stockwerke über den Zustand des Körpers. Im ersten Stock erhalten das motorische und prämotorische Zentrum große Mengen von Informationen und Anweisungen von anderen Hirnregionen. Hier werden Anweisungen an das Muskel-Skelett-System und Organe formuliert. Im Stockwerk darüber befindet sich die Kommandozentrale, der präfrontale Kortex. Hier werden Entscheidungen getroffen und Signale ausgesendet, die die unteren Stockwerke hemmen oder mobilisieren. Über ständige wechselseitige Kommunikation werden Entscheidungen und Handlungen auf die Umwelt und Anforderungen abgestimmt. Besonders den hochkomplexen Informationen fällt dabei eine besondere Bedeutung zu. Sie sind als System von Symbolen im menschlichen Gehirn repräsentiert und stellen Ereignisse, Zustände und Empfindungen der Vergangenheit und Gegenwart dar. Dieses System von Symbolen ist die Basis für einen probabilistischen Entwurf künftiger Handlungen (Pickenhain, 1996).

In diesem Kapitel konnte verdeutlicht werden, welche Teile des Gehirns an der Ausführung und Planung einer Bewegungshandlung beteiligt sind. Auf dieser Basis finden sich die Operationen und Repräsentationen, die nötig sind, um eine willkürliche Bewegung auszuführen. Im folgenden Kapitel soll die Repräsentation von Bewegungsabläufen bzw.

Bewegungshandlungen näher betrachtet werden, um im weiteren Verlauf (Abschnitt 2.4) einen Link zwischen der neuroanatomischen Basis und kognitionspsychologischen Modellannahmen zu schaffen.

2.3 Repräsentation von Bewegungsabläufen

Nach Meinel und Schnabel (1998) ist die Bewegungskoordination die Organisation bestimmter ausgewählter motorischer Aktionen in Richtung eines bestimmten Zieles. Dabei wird auf mentale Repräsentationen von Ereignissen, Zuständen und Empfindungen zurückgegriffen, die in einer bestimmten Ordnung zueinander stehen.

Mentale Repräsentationen, und dazu gehören auch Repräsentationen von Bewegungen, ermöglichen dem Menschen ein zielgerichtetes Handeln (Scheerer, 1993; Wiemeyer, 1994). Damit werden zwei Tatsachen in die Überlegungen mit eingeschlossen: Auf der einen Seite die Steuerung von Bewegungen und auf der anderen Seite deren Kontrolle, ohne die ein Handlungserfolg nicht realisierbar wäre. Über die neurophysiologischen Grundlagen der Bewegungssteuerung wurde im vorangegangenen Kapitel schon berichtet, so soll nun die zugrunde liegende Modellvorstellung erläutert werden. In den nun folgenden Ausführungen soll sich im Wesentlichen an den Modellvorstellungen von Schack (2002) orientiert werden, die sich auch in die neurophysiologische Basis integrieren lassen. Mit seiner Arbeit zur kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen hat Schack eine Möglichkeit für einen integrativen Ansatz auf bewegungswissenschaftlicher, sowie kognitionswissenschaftlicher Basis geschaffen. Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit sollen die Modellvorstellungen von Schack (2002) den Rahmen darstellen, an den sich die folgenden Darstellungen und Untersuchungen orientieren.

2.3.1 Repräsentation elementarer Bewegungsakte

Durch verschiedene experimentelle Studien konnte nachgewiesen werden, dass zentrale Repräsentationen bei der Steuerung von Bewegungsfolgen beteiligt sind (Schack, 2002). Körndle und Narciss (1993) führen dazu aus, dass es sich bei der Ausführung von Bewegungen um das Resultat von intern ablaufender Prozesse handelt, die auf der Grundlage interner Bewegungsrepräsentationen beruhen. Soll ein intentional geleitetes Handlungsziel über eine Bewegung erreicht werden, so ist es nötig, zumindest eine Idee über den Endzustand der Handlung zu besitzen (Heuer & Konczak, 2003; Hommel, 2002). Es muss

also eine handlungsleitende Repräsentation vorhanden sein, mit der Handlungsziele definiert und die ausführende Motorik in zieldienlicher Weise eingesetzt wird (Hommel, 2002). Es wird bspw. angenommen, dass die Steuerung komplexer Bewegungen vor dem Hintergrund des Konzeptes der motorischen Äquivalenz durch Nutzung der Variabilitätseigenschaften des Bewegungssystems determiniert ist (Kording & Wolpert, 2004). Die Idee von Schmidt (1975) der generalisierten motorischen Programme basiert auf der Impuls-Timing Hypothese. Demnach werden Willkürbewegungen maßgeblich durch eine begrenzte Anzahl nicht austauschbarer Programmelemente festgelegt. Grundlegend war dabei die Idee, dass zur Ausführung / Kontrolle einer Bewegungshandlung nicht unbedingt externe Informationen vorhanden sein müssen. Untersuchungen an durch Krankheit oder Verletzung deafferenzierten Patienten konnten belegen, dass willkürlich ausgeführte Bewegung zielgerichtet und in verschiedenen Geschwindigkeiten ausgeführt werden können. Es müssen also interne Kontrollstrukturen vorhanden sein, die eine Bewegungshandlung ermöglichen. Einschränkend muss allerdings festgestellt werden, dass die Patienten zwar in der Lage sind, zuvor erlernte Bewegungen ohne sensorische Rückmeldung auszuführen, aber ohne die Genauigkeit, zu der gesunde Menschen in der Lage sind (Hommel, 2002).

Eine besondere Rolle bei der Ausführung von Bewegungen spielen die sensorischen Rückmeldungen:

„... Sensory feedback tells the athlete whether or not he has performed the movement properly and effectively. ...“ (Schack & Mechsner, 2006, S.80)

Ohne sensorische Rückmeldung findet keine präzise Bewegung statt. Um eine zielgerichtete Bewegung ausführen zu können, ist es wichtig, überflüssige Freiheitsgrade des Bewegungssystems zu überwinden (Schack, 2001d). Bernstein (1967) ordnet dem Menschen eine Vielzahl von Freiheitsgraden zu, die es gilt zu kontrollieren. Dieses kann freilich nur über eine ständige sensomotorische Kontrolle gelingen, die einerseits die Ausgangsbedingung und andererseits die Bewegungsoperation zum Erreichen der Zielbedingung überwacht. Doch nicht nur die sensorische Rückmeldung spielt bei der Durchführung einer Handlung oder Bewegungssequenzen eine wichtige Rolle. Auch Antizipationseffekte stellen einen wichtigen Bestandteil von Bewegungshandlungen dar. Bernstein (1975) bezeichnet die Vorwegnahme des Bewegungsergebnisses als bestimmenden Faktor der Handlung. So wird z.B. beim Greifen und Anheben eines Glases im Voraus die Größe des Glases und die aufzubringende Kraft antizipiert. Fehleinschätzungen führen dabei unweigerlich zu Fehlern in der

Bewegungsausführung. Experimente, die sich mit dem Antizipationseffekt bei Bewegungshandlungen beschäftigen, finden sich z.B. bei Jeanerod und Biguer (1982). Sie konnten anhand einer mit Videokameras aufgezeichneten, zielgerichteten Greifbewegung feststellen, dass Daumen und Finger sich bereits vor Verlassen der Startposition auf das zu greifende Objekt einstellen. In gewisser Weise antizipiert die Hand das Objekt. Das heißt, dass bereits vor dem Kontakt mit dem Objekt Erwartungen und Wissen in die Handlungsplanung mit eingeflossen sind (unter der Voraussetzung, dass bewusst nach dem Glas gegriffen wird). Damit stellen das Begreifen des Bewegungsziels und die Vorwegnahme der auftretenden sensorischen Effekte sowie mentale Repräsentationen, die aus Erfahrungswerten bestehen, die Grundvoraussetzung für die kognitive Kontrolle von Bewegungshandlungen dar. Dabei stellt sich die Tatsache, dass Vorstellungen über Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse aufgebaut werden, als vorteilhaft dar, da auf sie nahe zu unbegrenzt zugegriffen werden kann und sie variabel einsetzbar sind. Gedankliche Operationen zur Vorstellungsbildung finden dabei in einem engen Bezug zur Sprache statt (Pöhlmann, 1994). Demnach können Bewegungshandlungen und Vorstellung sprachlich / begrifflich fixiert werden.

Wie vorangegangen schon erläutert, ermöglicht die Plastizität unseres Gehirns Lernprozesse und damit Erfahrungswerte in Verbindung mit Bewegungshandlungen oder Objekten zu bringen. Damit ist die Basis für ein Modell geschaffen, das sich mit der Vorwegnahme von Handlungseffekten beschäftigt. Schack (2002) bettet hierzu Bernsteins *Modell des erforderlichen Künftigen* (Bernstein, 1975) in eine kognitive Architektur von Bewegungshandlungen ein. Dabei ist das *Modell des erforderlichen Künftigen* in die Ebene einer mentalen Kontrolle integriert. So wird die Planung einer Bewegungshandlung auf der Basis von erwarteten Effekten und aktuellen sensorischen Informationen möglich. Anders ausgedrückt können entsprechende Handlungs- und Objekteffekte in Verbindung treten, um eine Bewegungshandlung zu planen.

2.3.2 *Bewegungskomplexität und Bewegungsrepräsentation*

So wie vorangehend dargestellt, lässt sich die Aussage treffen, dass Bewegungshandlungen, die einer antizipierten Bewegungskontrolle unterliegen, mit zunehmender Komplexität auch in ihrer Planung länger dauern (Hommel, 2002). Ein Beleg für einen solchen Komplexitätseffekt liefern Henry und Rogers (1960). Sie konnten nachweisen, dass vor Bewegungsbeginn ein Handlungsplan entworfen wird, der mit zunehmender Komplexität

auch die Reaktionszeit verlängert. Es wird also ein Handlungsplan vor Bewegungsbeginn erstellt, der mit zunehmender Kopplung von Einzelbewegungen auch in seiner Erstellung mehr Zeit in Anspruch nimmt.

Demnach werden zielgerichtete Bewegungen durch temporäre kognitive Repräsentationen gesteuert. Repräsentationen antizipierter Bewegungseffekte werden mit entsprechenden zieldienlichen Repräsentationen zum Erreichen des Handlungsziels verknüpft (Hommel, 2002). Somit stellt sich das Planen einer Bewegung als komplexer Prozess dar, der die zukünftigen, erwartbaren sensomotorischen Effekte als Korridor für die Ausführung der Bewegungshandlung vorsieht. Ein motorisches Programm ist damit eine Verknüpfung vorweggenommener sensomotorischer Ereignisse (Mechsner, Kerzel, Knoblich, & Prinz, 2001; Pickenhain, 1996). Unterstützung findet diese Tatsache bei Elsner und Prinz (2003). Ältere Vorstellung von motorischen Programmen, wie sie beispielsweise von Schmidt (1977) postuliert wurden, können nicht mehr aufrecht erhalten werden. Sein Modell der *generalisierten motorischen Programme* legt alle für die Bewegung relevanten physiologischen und biomechanischen Parameter in einer Art Schablone fest (Konczak, 2002). Schmidt schreibt seinen GMPs invariante Strukturen zu, die sich auf die zeitliche Struktur und die einzusetzenden relativen Kraft beziehen. Situationsgebundene Kennwerte von Bewegungshandlungen, z.B. die Gesamtdauer oder die absolut einzusetzende Kraft, werden je nach Anforderung modifiziert. Schmidt schafft somit Programmbeschaffenheiten, die einen größeren Einsatzrahmen und somit auch eine höhere Effizienz der Speicherung ermöglicht. So umgeht Schmidt die Speicherproblematik, die auftreten würde, wenn ein motorische Programm für jede Situation alle Muskelkommandos enthalten würde und gesondert gespeichert sein würde (Schmidt, 1975, 1986). Jedoch konnte bereits in einer Einzelfallstudie im Bereich des Schwimmsports nachgewiesen werden, dass motorische Programme nicht ohne weiteres an einen veränderten situativen Rahmen durch variabel veränderbare Strukturelemente angepasst werden können (Engel, 1996). In einer Studie konnte nachgewiesen werden, dass sich beim Schwimmen in verschiedenen Geschwindigkeiten die eigentliche Bewegungsstruktur nicht verändert. Wichtige Bestandteile der Bewegung blieben zeitlich stabil. Die Schwimmgeschwindigkeit wurde über Zusatzbewegungen, die an geeigneter Stelle eingeschoben wurden, reguliert. Je nach gefordertem Geschwindigkeitsbereich hatte die Zusatzbewegung einen größeren oder kleineren Umfang. Dabei liegt eine Steuerung über sensorische Evidenzen nahe. Bewegungen im Wasser sind im höchsten Maße auf sensorische Rückmeldung angewiesen, da hier sonst keine Möglichkeit für den Sportler besteht, Bewegungshandlungen situativ anzupassen. In der

erwähnten Studie wurde in die Bewegungshandlung eine Zusatzbewegung eingefügt, um die mittlere Schwimgeschwindigkeit soweit zu reduzieren, damit das geforderte Bewegungsziel (langsameres Schwimmen) erreicht werden konnte. Generalisierte Motorische Programme reichen, wie oben dargestellt, nicht aus, um eine derartige Bewegungssteuerung zu vollbringen (z.B. Kelso, 1997b).

Demnach müssen Repräsentationen von Bewegungshandlungen aus mindestens vier Anteilen bestehen, die in einem mehr oder weniger engen Bezug zueinander stehen: einem motorischen, einem kinästetischen, einem bildhaft-räumlichen und einem sprachlich-symbolischen Anteil (Heuer, 1990).

Eine Bewegungsrepräsentation muss also ganz besondere Anforderungen erfüllen. Sie sollte flexibel in ihrem Einsatz sein, darf nicht nur Kommandos der beteiligten Muskulatur enthalten, sondern sollte vielmehr zielorientiert anpassbar sein. Repräsentationen von Bewegungen können also hier als flexible Struktur von bedeutungs- / merkmals tragenden begrifflicher Einheiten verstanden werden, die untereinander verknüpft die Bewegungsrepräsentation bilden.

Basic-Action-Concepts

Wie in den vorangegangenen Kapitel dargestellt, benötigt die Ausführung / Repräsentation einer Handlung verschiedene Komponenten: Komponenten der sensorischen Rückmeldung, Komponenten verschiedener motorischer Aktionen, Komponenten funktionaler Integrität. Integrativ schlägt Schack (2002) *Basic Action Concepts (BAC)* vor. Dabei handelt es sich um kognitive Einheiten, die in ihrer Zusammenfassung Konzepte von Begriffen und Bewegungsereignissen sind. Somit handelt es sich bei *BACs* um propositionale Repräsentationen im Sinne von Eysenck und Keane (2000) Diese Zusammenfassung geschieht bezüglich ihrer gemeinsamen Funktion bei dem Erreichen von Handlungszielen (Schack, 2002). Diese Zusammenfassungen können als Basis-Begriffe bezeichnet werden, die merkmalsbelegt sind. Es wird angenommen, dass Begriffe (Knotenpunkte) Bewegungssequenzen bündeln, die geeignete Zwischenschritte zur Lösung von Bewegungsaufgaben darstellen. Dabei bildet die Tatsache, dass spezifische Komponenten der Bewegungskoordination begrifflich strukturiert sind und somit Begriffe die kognitiven Einheiten des Systems bilden, den theoretische Ausgangspunkt dieser Annahme (Schack, 1999b). Die Verbindungen von *BACs* sind somit die Korrelate dessen, was man bei einer Bewegungshandlung fühlen, sehen, hören und verbalisieren kann. Über ihre Gesamtheit bilden die *BACs* Strukturen, die je nach Expertise des Individuums mehr oder weniger stark

verbundene Netzwerke von Begriffssystemen sind. Diese Strukturen sind über funktionale und sensorische Merkmale der Bewegungshandlung miteinander verbunden.

„... BACs are cognitive chunks of movement postures and movement events concerning common features in the realization of action goals. Importantly, BACs code both internal and external effects of motor actions. ...“ (Weigelt, Schack, & Kunde, 2007, S.52)

Über viele Arbeiten konnte nachgewiesen werden, dass eine solche Verknüpfung sinnvoll erscheint (Heinen, 2005; Schack, 1999b, 2000, 2001b, 2001d; Schack & Heinen, 2000, 2002; Schack, Heinen, & Randecker, 2001; Schack & Mechsner, 2006) und noch vielmehr für die trainingspraktische Seite eine hohe Relevanz besitzt. Die dabei entscheidende Problematik führt Lippens (2004) aus. Er kritisiert, dass die Innensicht des Sportlers hochindividuell ist und nicht immer mit der Außensicht kongruiert, solange sich die *BACs* an Phasenstrukturen der Bewegungstechnik orientieren. Dem kann aber entgegengehalten werden, dass, nach den oben getätigten Annahmen, die Bewegungstechnik als ein von außen beobachtbares Korrelat der inneren Zustände angesehen werden kann, welches auch von den Sportlern aus beiden Sichtweisen in der Regel erkannt wird. Umfangreiche Befragungen an Sportlern kamen zu dem Schluss, dass die verwendeten *BACs* ihre Entsprechung in der Bewegungsrepräsentation fanden. Des Weiteren werden die *BACs* auch häufig von den Sportlern zwar individuell auf unterschiedliche Art attribuiert, dennoch finden sich diese Attributierungen in der Regel in den *BACs* wieder. Es besteht durchaus die Möglichkeit, konkrete Phasenstrukturelle Komponenten mit Bewegungsgefühl in Verbindung zu bringen. Die *BACs* stellen damit nicht nur die schon oben beschriebenen Korrelate von Basiskonzepten einer Bewegung dar, sondern sind auch der vermittelnde Code zwischen Außen- und Innensicht einer Bewegungshandlung. Dabei unterscheiden sich die Attributierungen. Während der Sportler konkrete, auf die Innensicht bezogenen sensorische Rückmeldungen benötigt, um zielgerichtet eine Bewegungshandlung auszuführen, übernehmen biomechanische Parameter, die sich an der Phasenstruktur orientieren, bei der Außensicht eine Art Hilfsfunktion. So gelang es Heinen (2005), biomechanisch relevante Parameter mit mentalen Strukturen zu verknüpfen.

In Abbildung 6 ist die Verbindung zweier *BACs* als Netzwerk der internen Architektur der mentalen Repräsentation dargestellt. Die Verbindung der verschiedenen Merkmale untereinander ist das Resultat einer aufwandsreduzierten Strukturbildung im Langzeitgedächtnis (Schack, 2002). Sensorische (afferente und refferente), vertikale und

horizontale Merkmale werden dabei mit in die Betrachtung eingeschlossen. Damit sind einerseits interne Zustände und andererseits funktionale Merkmale in die Konzeption mit eingeschlossen. Die *BACs* sind also intern geclustert und bilden mit den Relationen untereinander die Struktur.

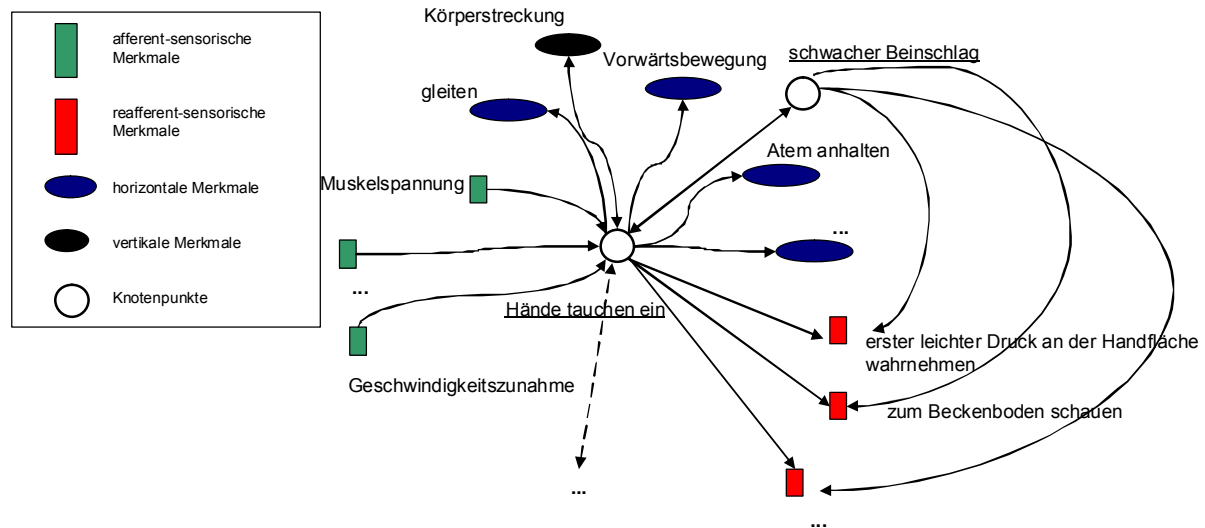


Abbildung 6 Ausschnitt aus der internen Architektur einer Bewegungsrepräsentation. Es wird ein Netzwerk angenommen, in dem Merkmalsätze eine quasistationäre Struktur bilden. Das Beispiel ist hypothetisch aus der Armbewegung des Delfinschwimmens entnommen (modifiziert nach Schack, 2002).

Im Lernprozess werden die *BACs* weiter spezifiziert und erfahren im Laufe des Übungsprozess unterschiedliche Gewichtung. Dabei treten funktionale Merkmale in den Vordergrund. Zusammenfassend lassen sich die *BACs* als Teilstrukturen eines Vorhersagemodells von Bewegungshandlungen charakterisieren, die auf dem Weg zur Bewegungshandlung wichtige Informationen bereitstellen.

Schack (2002) siedelt die *BACs* auf der untersten Ebene einer hierarchischen Struktur mentaler Bewegungsrepräsentation an (vgl. Abbildung 7).

„... Sie bündeln sensorische Informationen über funktional äquivalente Bewegungselemente zur Erreichung von Zwischenzielen der Bewegungshandlung. ...“ (Schack, 2002, S.110)

In der nächsten übergeordneten Ebene vollzieht sich die Phasenbildung auf dem Weg zur Lösung eines spezifischen Bewegungsproblems (Schack, 2002). *BACs*, die von einer funktionalen Kovariation geprägt sind, werden hier zu Gruppen zusammengefasst. Darüber

wird die Phasenintegration geleistet. Gruppen werden aufgrund ihrer funktionalen Kopplung zusammengeführt. Schlussendlich treffen sich alle Repräsentationsstrukturen auf einer abschließenden Ebene, die dem Zweck der Lösung der Bewegungsaufgabe dient. In Abbildung 7 ist das Modell der hierarchischen Struktur mentaler Bewegungsrepräsentation schematisch abgebildet.

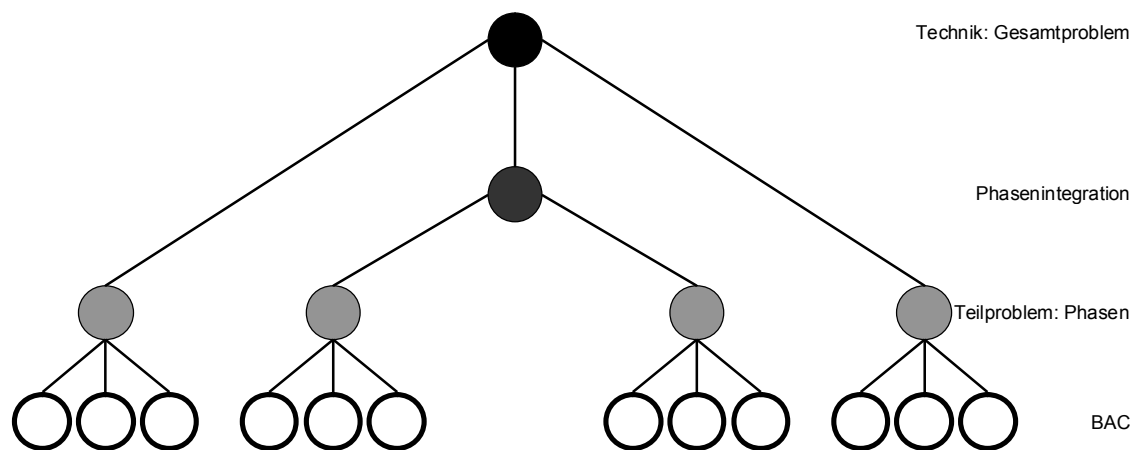


Abbildung 7 Modell der hierarchischen Struktur mentaler Bewegungsrepräsentationen (nach Schack, 2002).

Das Modell der kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen bietet den *BACs* eine Möglichkeit der Einbettung in ein komplexes Modell.

Kognitive Architektur von Bewegungshandlungen

Das Modell der kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen von Schack (2002) erreicht eine Integration von AG (in der Zusammenfassung von sensorischen und Kurzzeit-Gedächtnis) und LZG in eine kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen. Diese Vorstellung einer Struktur zeigt einen Zusammenhang von Kontroll- und Repräsentationsebenen (vgl. Abbildung 8). Dabei handelt es sich um eine überdauernde Struktur, die sich aus kognitiven Einheiten und funktionalen Strukturen zusammensetzt. Schack (2002) nimmt für diese Struktur verschiedene Ebenen an, denen spezifische funktionale Aufgaben zuzuordnen sind. Jeder Ebene wird dabei eine funktionale Autonomie unterstellt (Schack, 2004).

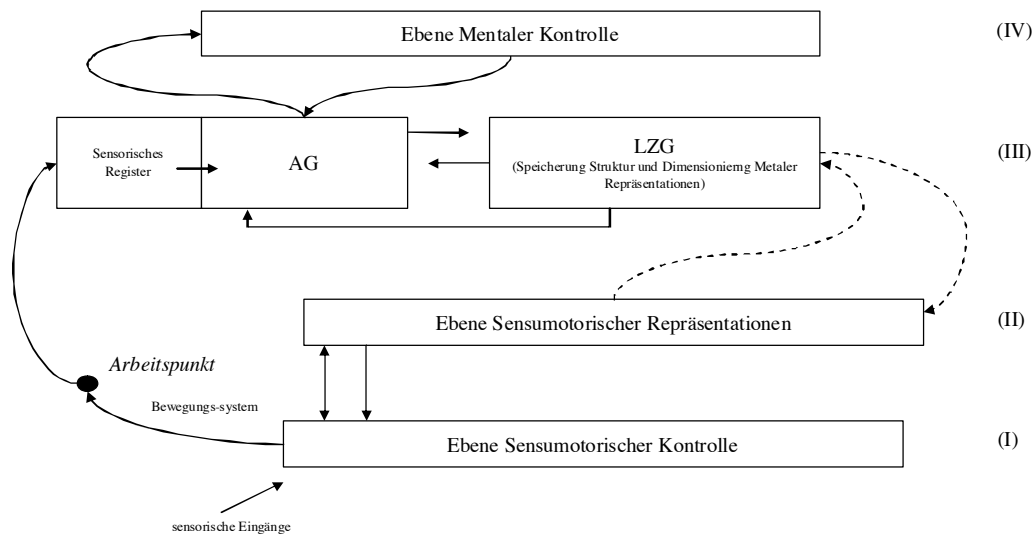


Abbildung 8 Erweitertes Modell der kognitiven Architektur (nach Schack, 2002).

Dabei ist, wie bereits dargestellt, die Vorwegnahme des Resultats die Voraussetzung für die Bewegungshandlung. In Tabelle 1 sind die Ebenen der Organisation von Bewegungshandlungen dargestellt.

Tabelle 1 Ebenen der Organisation von Bewegungshandlungen (Schack, 2002).

| CODE | EBENE | HAUPTFUNKTION | SUBFUNKTION | MITTEL |
|------|--------------------------------|----------------|--|--------------------------------------|
| IV | Mentale Kontrolle | Regulation | Volitive Initiierung, Strategieeinsatz | Symbole, Strategien |
| III | Mentale Repräsentation | Repräsentation | Effektorische Adjustierung | Basic-Action-Concepts |
| II | Sensumotorische Repräsentation | Repräsentation | Speicherung sensumotorischer Effekte | Perzeptuelle Effektrepräsentation |
| I | Sensumotorische Kontrolle | Regulation | Räumlich-zeitliche Adjustierung | Funktionelle Systeme, basale Reflexe |

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, ist Ebene IV die Ebene der mentalen Kontrolle, deren Hauptfunktion regulative Prozesse beinhaltet. Ihr werden Aufgaben der willkürlichen Bewegungsregulation und der Codierung des antizipierten Bewegungsergebnisses zugeordnet. Diese Ebene ist intentional induziert. Die vierte Ebene kann auch mit einer Ebene des erforderlichen künftigen gleichgesetzt werden. Auf ihr kann die willkürliche Initiierung von

Handlungen verortet werden (Schack, 2002). Die zentrale Aufgabe dieser Ebene besteht darin, antizipierte Bewegungseffekte passend zu einem Bewegungsergebnis zu kodieren. Das kodierte Bewegungsergebnis wird für eine weitere Bewegungsorganisation weitergeleitet. Eine Art der kognitiven Referenz bietet die dritte Ebene (III) für die Ebene der mentalen Kontrolle. Das auf der vierten Ebene antizipierte kodierte Bewegungsergebnis wird hier in ein Modell der dazu erforderlichen Bewegungsstruktur transformiert (Schack, 2002). Die *BACs* sind auf dieser Ebene zu finden und führen funktionale und sensorische Merkmale der Bewegungshandlung zusammen. Die funktionalen Merkmale werden durch das Bewegungsziel determiniert. Auf der zweiten Ebene (II) sind die sensorischen Merkmale (perzeptuelle Effektrepräsentationen) verortet. Damit wird die Nähe zur dritten Ebene deutlich. Die *BACs* sind hier die verbindenden Einheiten zwischen diesen Ebenen. Die unterste Ebene (I) hält über Analysatorensysteme Kontakt zur Außenwelt. Die Ebene der sensomotorischen Kontrolle ist von weitestgehender Autonomie geprägt. Auf ihr laufen basale Reflexe, aber auch funktionale Systeme ab.

In Abbildung 8 sind die vier Ebenen der kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen dargestellt. Wie bereits oben dargestellt, sind die Ebenen weitestgehend von Autonomie geprägt, aber dennoch umfangreich miteinander verknüpft. Die bisherigen Ausführungen lassen den Schluss zu, dass es sich bei den vernetzten Abläufen zwischen den Ebenen sowohl um *top-down*- als auch um *bottom-up*-Prozesse handeln könnte. Zwischen diesen Prozessen herrscht auch Interaktion, über z.B. die der *Stroop-Effekt* erklärt werden kann (Cohen, Dunbar, & McClelland, 1990).

Die in Abbildung 8 dargestellten Ebenen und Prozessen sollen im Folgenden neuroanatomisch zugeordnet werden.

2.4 Integration

Die umfangreiche Vernetzung und Verknüpfung der verschiedenen Strukturen im Gehirn macht eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Strukturen des Gehirns zu eindeutigen Funktionen sehr schwer (Pickenhain, 2003). Im folgenden Kapitel soll der Versuch unternommen werden, die oben gemachten Annahmen zusammenzuführen. So soll die neuroanatomische Struktur in das Modell der kognitiven Architektur von Bewegung eingebracht werden.

Beginnen soll der Versuch einer Integration mit der untersten Ebene der kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen, der erste Ebene in Schacks Modell (2002), der Ebene der sensomotorischen Kontrolle. Prozesse dieser Ebene könnten nach den hier gemachten Annahmen auf der Basis des Cerebellums ablaufen. Das Cerebellum ist zuständig für die Steuerung und Korrektur stützmotorischer Anteile von Haltung und Bewegung. Weiter ist es verantwortlich für die Kurskorrektur langsamer zielmotorischer Bewegungen und für den reibungslosen Ablauf der vom Großhirn entworfenen schnellen Zielmotorik (Birbaumer & Schmidt, 2004). Das Cerebellum erhält viele Afferenzen aus den verschiedenen Hirnregionen, aber auch direkt von der Sensorik. Auf der Basis des Cerebellums laufen auch automatisierte Bewegungen ab. Das Cerebellum übernimmt somit viele regulierende und steuernde Aufgaben (Gleichgewicht, Körperhaltung, Koordination) und steht mit vielen Zentren des Gehirns in Verbindung. Ebenso ist auf der untersten Ebene der Hirnstamm (und das Spinalmark) anzusiedeln. Hier laufen einfache Reflexe ab. Ebenso wird angenommen, dass hier beim Menschen, vergleichbar mit Tieren, ein Schreitgenerator anzusiedeln ist. An diese Stelle ließe sich gut die Modellvorstellung selbstorganisierender Systeme integrieren (Action approach z.B. Kelso, 1997a; Wollny, 1993). Bei diesem systemdynamischen Ansatz handelt es sich um den theoretischen Anstoß, dass die Kontrolle und die Steuerung von Bewegungen als Resultat der Rückwirkung zwischen Teilelementen des Körpers und der Umwelt entsteht (Birklbauer, 2006).

In der nächsten übergeordneten Ebene befinden sich die sensomotorischen Repräsentationen. Sensomotorische Repräsentationen wären im Hippocampus und primären somatosensorischen Kortex zu verorten. In enger Nähe befinden sich Strukturen der dritten Ebene. Die Ebene der mentalen Repräsentation wäre mit dem motorischen Kortex, den Basalganglien, dem Thalamus, Teilen des Cerebellums und dem Hippocampus zu assoziieren. Die Basalganglien helfen bei der Integration der auf der obersten Ebene (mentale Kontrolle) entworfenen Bewegungspläne und überführen diese zur Feinkoordination in den motorischen Kortex. Die Ebene der mentalen Kontrolle ist nur schwer zu verorten. Denken und Bewusstsein sind nicht einfach einer Struktur zuzuordnen. Sie sind vielmehr das Resultat der Aktivität verschiedener Strukturen. Wenn Strukturen hier zugeordnet werden können, dann die des frontalen Kortex und der assoziativen Kortizes (z.B. Luria, 1973).

In Abbildung 9 ist eine hypothetische Architektur von Bewegungshandlungen dargestellt. Mit der Ebene der mentalen Kontrolle werden die Strukturen der assoziativen Kortizes und dem frontalen Kortex assoziiert (Pickenhain, Beyer, & Meischner, 1985). Hier entstehen der

Handlungsantrieb und der Bewegungsplan, der das Bewegungsergebnis vorwegnimmt. Zur weiteren Ausarbeitung wird der Bewegungsplan / Bewegungsentwurf auf die darunter liegende Ebene weitergeleitet. Während in den Basalganglien die Festlegung der Bewegungsparameter stattfindet, erfolgt im Cerebellum die nötige Koordination und Abstimmung mit der Stütz- und Haltemotorik. Das Cerebellum projiziert dabei direkt in den Hirnstamm, der über einfache Regulationsmechanismen die Stütz- und Haltemotorik kontrolliert und steuert. Im Thalamus werden die Ergebnisse aus dem Cerebellum und den Basalganglien zusammengeführt. Der Thalamus projiziert die zusammengefassten Ergebnisse in den primären motorischen Kortex, der in enger Zusammenarbeit mit dem primären somatosensorischen Kortex steht (Latash, 2008). Hier überschneiden sich die Ebenen der mentalen und der somatosensorischen Repräsentation. Nichtsdestotrotz können auf der Ebene der mentalen Repräsentation *BACs* angenommen werden, die ihre Spezifikation in den Basalganglien erhalten. Es kann angenommen werden, dass die notwendige Verbindung der *BACs*, die Phasenbildung auf dem Weg zur Lösung eines spezifischen Bewegungsproblems, in den Thalamus vollzogen wird. *BACs*, die von einer funktionalen Kovariation geprägt sind, werden hier zu Gruppen zusammengefasst (Schack, 2002). Die Informationen aus den motorischen Kortex werden anschließend an die Zielmotorik über die spezifischen Bahnen weitergeleitet.

3 Eigener Untersuchungsansatz

Unter Bezugnahme zur dargestellten Problemstellung wird deutlich, dass das vorliegende Ziel der Arbeit eine Aufklärung des Zusammenhangs zwischen der mentalen Struktur von Bewegungsrepräsentationen und der kortikalen Aktivierung ist. Während die beobachtbare Aussensicht einer Bewegungshandlung durch eine Reihe von (bio-)mechanischen Modellen differenziert beschrieben werden kann (z.B. Ballreich, 1996), müssen im Hinblick auf ein integratives Verständnis und aus empirisch-sportpsychologischer Perspektive Modellannahmen zur komplexen Bewegungskoordination auf mentaler Ebene vorgelegt werden.

An dieser Stelle wird häufig auf eine mögliche Diskrepanz zwischen der sog. Innensicht von Bewegungen und der zugehörigen Außensicht hingewiesen (Eberspächer, 2007; Lippens, 2003). Zur Erfassung der Innensicht sportlicher Bewegungen sind eine Reihe von Verfahren entwickelt worden, die unterschiedlich psychometrisch ergiebig sind. Zu nennen wären etwa Kartenlegeverfahren im Forschungsparadigma der subjektiven Theorien (Lippens, 2003; Scheele & Groeben, 1988), der Einsatz des semantischen Differentials als *Repertory Grid* (Seelig, 2000) oder der Einsatz weiterer Verfahren, wie etwa der Ziel-Mittel-Analyse (Scheele & Groeben, 1988) und die Rekonstruktion von Repräsentationen aus Reaktionszeitanalysen (Krause, 2000). Mit Ausnahme der Reaktionszeitanalyse weisen diese Verfahren einen kritischen Parameter auf: Die Struktur der Innensicht (resp. Mentaler Repräsentationen) muss vom Probanden (teil-)expliziert werden, um sie erfassen zu können. Geht man jedoch davon aus, dass mentale Bewegungsrepräsentationen nur zum Teil bewusstseinspflichtig sind, dann macht die direkte Explikation von Bewegungswissen zur Rekonstruktion der zugrunde liegenden Struktur wenig Sinn. Zweckmäßiger wäre eine indirekte Rekonstruktion, bei der der Proband eher implizit entscheidet.

Mit dem Ansatz von Schack (2002) wird in der vorliegenden Arbeit eine solche indirekte Rekonstruktion mentaler Bewegungsrepräsentation realisiert. Die dort verankerte *Strukturdimensionale Analyse – Motorik (SDA-M)* ermöglicht es, die Struktur mentaler Bewegungsrepräsentationen zu erfassen. Sie beruht auf dem modelltheoretischen Hintergrund der *kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen* (Schack, 2002) und wird im Abschnitt 3.2.1 näher dargestellt. Ferner ist es im Hinblick auf die Zielstellung der vorliegenden Arbeit notwendig, dass Verfahren der Elektroencephalographie mit dem Ansatz von Schack (2002) forschungsmethodisch in einen Zusammenhang zu bringen. Eine Darstellung der

Elektroencephalographie, wie sie in vorliegender Arbeit zum Einsatz kommt, findet sich in Abschnitt 3.2.2. Mittels dieser Methode sollen die kortikalen Aktivitäten während der Zuordnung im Splitverfahren näher betrachtet werden. Diese Methode bietet die Möglichkeit, kortikale Reaktionen während der Verarbeitung von Reizen unmittelbar zu betrachten. Die Grundannahmen zur Struktur des eigenen Ansatzes sind im folgenden Abschnitt ausdifferenziert.

3.1 Struktur des eigenen Ansatzes

Abbildung 10 zeigt den forschungsmethodischen Ansatz der vorliegenden Arbeit. Wie bereits beschrieben, steht im Kern des Ansatzes die Aufklärung von Zusammenhängen zwischen der Struktur mentaler Bewegungsrepräsentationen und der kortikalen Aktivierung bei der Ermittlung dieser Strukturen. Die Struktur mentaler Bewegungsrepräsentationen wird mittels der *Struktur-Dimensionalen Analyse – Motorik* (SDA-M) erfasst. Zur Erfassung kortikaler Aktivierungen kommt das EEG zum Einsatz.

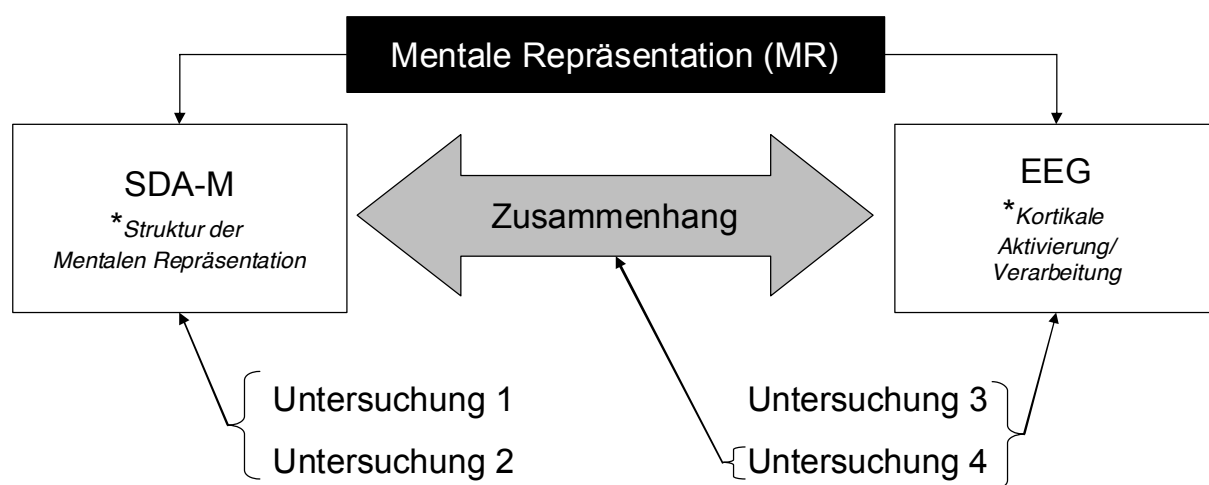


Abbildung 10 Forschungsmethodischer Zugang der vorliegenden Arbeit und zugeordnete Untersuchungen.

Im Zentrum der Untersuchung 1 und 2 steht die Erfassung der Struktur der mentalen Repräsentation von Bewegungen im Wasser (Schwimmsport). Unter Betrachtung des aktuellen Forschungsstands lassen sich mit den anstehenden Untersuchungen forschungsmethodische Lücken schließen. Auf der einen Seite existieren kaum Untersuchungen, die sich aus sportpsychologischer Sicht mit der Thematik der Bewegungen

im Wasser beschäftigen. Auf der anderen Seite scheint die Sportart Schwimmen mit seinen vielen Facetten als Themenfeld für Untersuchungen der Struktur mentaler Repräsentationen hoch interessant. Die hohe Komplexität der Bewegungen, die im Wasser zur Vortriebserzeugung nötig sind, und die ungewöhnliche horizontale Lage beim Ausführen der sportlichen Handlung machen das Schwimmen zu einem interessanten Untersuchungsfeld. Mit Untersuchung 3 wird ein Zugang in die EKP Forschung bei Verwendung bewegungsbezogenen Stimulusmaterial geleistet. Unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstands haben sich schon einige Untersuchungen außerhalb des schwimmsportlichen Forschung mit der Verarbeitung von verschiedenen Stimulusmaterialien beschäftigt (Hatfield & Hillman, 2001). Daher scheint hier sinnvoll zu sein, einen Zusammenhang zwischen der Verarbeitung bewegungsbezogener Reize und ihrer kortikaler Aktivierung herzustellen. So kann eine Basis geschaffen werden, mit der eine Untersuchung (4) elektrophysiologische Korrelate der SDA-M widerspiegeln könnte.

Als experimentelle Aufgaben werden Bewegungen aus dem Schwimmsport genutzt. Diese zeichnen sich durch eine hohe Komplexität der Gesamtstruktur aus. Ferner besteht kein oder nur ein sehr geringer Bezug zwischen sog. *Earthbound-movements* und Bewegungen im Wasser. Sensorische Rückmeldungen können als intensiver angenommen werden, da sich der Sportler in einem Medium befindet, welches ihn vollständig umgibt. Neben kinästhetischen Reizen spielen bei der Bewegung im Medium Wasser offenbar auch haptische und taktile Reizungen eine Rolle. Zudem erscheint die Kopplung von Körperteilbewegung als ein wichtiges Merkmal für den Expertisegrad des Sportlers. Hier wird die Ökonomie der schwimmsportlichen Bewegung begründet (Engel, 1996).

3.2 Ableitung des eigenen forschungsmethodischen Vorgehens

Vier aufeinander aufbauende Untersuchungen sollen das forschungsmethodische Vorgehen zu Erfassung mentaler Repräsentationen im Schwimmsport widerspiegeln. In einem ersten Schritt ist es zweckmäßig, Untersuchungen zur Struktur mentaler Repräsentationen im Schwimmsport durchzuführen. Dies ist vor dem Hintergrund der aktuellen Literatur (z.B. Berthold et al., 2004; Schack, 1999b; Schack & Heinen, 2002) und der Zielstellung vorliegender Arbeit notwendig, insbesondere, um das Forschungsfeld mentaler Repräsentationen im Schwimmen zu erweitern. Dazu werden die folgenden zwei Untersuchungen angelegt:

U1: Differentielle Untersuchung mentaler Repräsentation im Schwimmen**U2: Differentielle Untersuchung lernbedingter Veränderung mentaler Repräsentationen im Schwimmen**

In Anlehnung an die bisherige Forschungsarbeit wird zunächst im Experten-Novizen Paradigma versucht, Unterschiede zwischen Schwimmexperten und Schwimmnovizen bei einer komplexen Schwimmbewegung (Delphin) zu erfassen. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich Unterschiede in der mentalen Struktur nachweisen lassen, die zum einen an den Expertisegrad und zum anderen an die Bewegungsausführung selbst gekoppelt sind. Das erwartete Ergebnismuster weist zweierlei Merkmale auf: Zum einen werden die nachfolgenden Untersuchungen inhaltlich und hypothesengenerierend vorbereitet. Zum anderen werden aus einer sportpraktischen Perspektive Aussagen zur mentalen Repräsentationen komplexer Bewegungen im Umgebungsmedium Wasser vorgelegt.

In der zweiten Untersuchung sollen die Besonderheiten aus einem Experten-Novizen Vergleich durch die Überprüfung des Effekts einer kurzfristigen Intervention auf die Struktur mentaler Repräsentation erweitert werden. Aus theoretischer Perspektive würde damit die Hypothese einer Veränderung mentaler Bewegungsrepräsentationen durch eine gezielte Intervention überprüft werden. Aus sportpraktischer Perspektive wird ferner eine Evaluation der eingesetzten Intervention möglich.

Aufbauend auf den Untersuchungen 1 und 2 werden zwei weitere Untersuchungen angelegt:

U3: Differentielle Analyse kortikaler Verarbeitung bei der Wahrnehmung unterschiedlicher Stimuli (allgemein vs. sportartspezifisch) im Oddball-Paradigma**U4: Zusammenhänge kortikaler Verarbeitung und der Struktur mentaler Repräsentationen**

Untersuchung 3 hat zum Ziel, eine differentielle Analyse der kortikalen Korrelate bei der Wahrnehmung unterschiedlicher Stimuli vorzunehmen. Ist davon auszugehen, dass sich mentale Bewegungsrepräsentationen in einer eigenen Art und Weise im Langzeitgedächtnis ausdifferenzieren (vgl. Untersuchung 1 und 2), dann können unterschiedliche kortikale Aktivierungen bei der Wahrnehmung unterschiedlichen Stimulusmaterials erwartet werden.

In Untersuchung 4 wird abschließend versucht, Zusammenhänge zwischen der kortikalen Verarbeitung und der Struktur mentaler Bewegungsrepräsentationen nachzuweisen. Diese Untersuchung baut auf den Untersuchungen 1 bis 3 auf. Wird davon ausgegangen, dass mentale Repräsentationen wie oben beschrieben im Langzeitgedächtnis repräsentiert sind und über eigene Besonderheiten in der kortikalen Verarbeitung verfügen, dann liegt es nahe, einen direkten Zusammenhang zwischen der kortikalen Verarbeitung und der zu Grunde liegenden Struktur zu vermuten.

Wie bereits beschrieben, kommt zur Erfassung der Struktur mentaler Repräsentationen die sog. Struktur-Dimensionale Analyse – Motorik zum Einsatz. Die Erfassung kortikaler Aktivierungen wird über das Elektroencephalogramm vorgenommen. Beide Methoden sind in den folgenden Abschnitten näher beschrieben (Abschnitt 3.2.1 und 3.2.2). Eine inhaltliche Zusammenführung beider Methoden wird in Untersuchung 4 realisiert (Kapitel 7).

3.2.1 Erfassung mentaler Bewegungsrepräsentationen mittels Struktur-Dimensionaler Analyse - Motorik

Bei der Strukturdimensionalen Analyse mentaler Repräsentationen handelt es sich im Ursprung um ein Verfahren aus der allgemeinen und kognitiven Psychologie (Lander & Huth, 1999). Schack (2002) konnte dieses Verfahren für die Bewegungswissenschaft und die Sportpsychologie weiterentwickeln und ermöglichte somit erstmals die Analyse mentaler Repräsentationen unter standardisierten Bedingungen. Die SDA-M bietet die Möglichkeit, mentale Strukturen incl. ihrer lernbedingten Veränderungen differentiell zu erfassen. Unter der Annahme, dass Teile unseres Bewegungswissens bewusstseinsfähig und begrifflich strukturiert sind, bilden *Basic-Action-Concepts (BACs)* die Einheiten unserer Repräsentationen (Schack, 2002). Klix (1984) ebenso wie Hoffmann (1986), führen aus, dass zwischenbegriffliche Relationen, also auch die Relationen zwischen den *BACs*, in weiten Teilen merkmalsbasiert sind (Hoffmann, 1986; Klix, 1984). Somit sind strukturelle Variationen einer Bewegungsrepräsentation dadurch bestimmt, in wie weit die darin eingehenden Begriffe in ihren Merkmalsätzen und ihrer Funktion (funktionaler Äquivalenz) übereinstimmen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die SDA-M eine psychometrische Darstellung begrifflich geordneten Wissens zulässt.

Schack & Heinen (2003) konnten einen messmethodischen Zusammenhang zwischen (mentaler) Repräsentationsstruktur und Bewegungsstruktur herstellen. In zahlreichen weiteren

Studien konnte auf experimenteller Ebene belegt werden, dass im Langzeitgedächtnis expertisegradabhängige Strukturen repräsentiert sind (Huth, 2000; Lander & Huth, 1999; Schack, 2002). Es ist also in diesem Zusammenhang entscheidend, Aussagen über die Repräsentationsstruktur in Hinblick auf Strukturierung und Dimensionierung treffen zu können. Die SDA-M bietet einen zuverlässigen und durch zahlreiche Studien (z.B. Heinen, 2005; Schack, 1999a; Schack, 1999b, 2001c, 2002; Schack & Heinen, 2000; Schack & Mechsner, 2006) überprüften Zugang zur mentalen Bewegungsstruktur beim Menschen. Aktuelle Projekte zeigen zudem, dass die SDA-M eine Methode darstellt, die in der regelmäßigen Anwendung ihre besondere Eignung zeigt.

Ausgehend von dem Repräsentationsmodell von Schack (2002) lässt sich der Zusammenhang zwischen den *BACs* einer Bewegungsrepräsentation geometrisch als Abstand zwischen zwei Punkten darstellen (vgl. Abbildung 11).

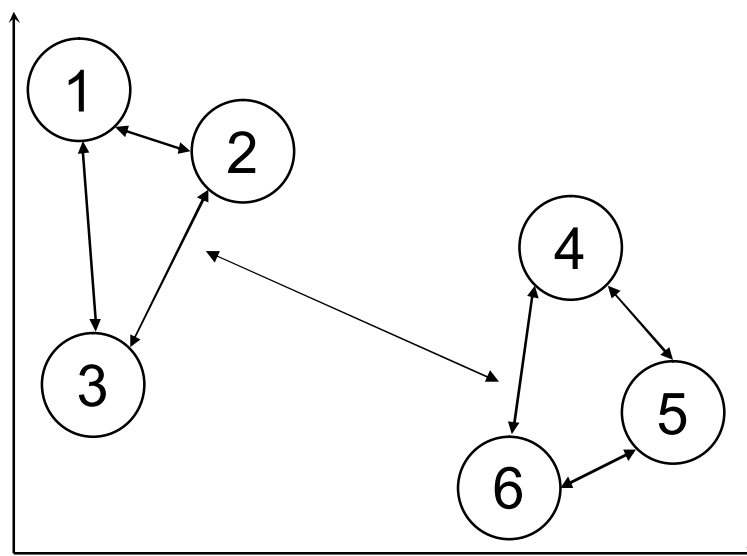


Abbildung 11 Modellvorstellung bzgl. der Abstandsskalierung von 6 BACs (modifiziert nach Heinen, 2005). Die Assoziationsstärke ist zwischen BAC1 und BAC2 größer als zwischen BAC2 und BAC3 oder BAC1 und BAC3. Ebenso ist die Assoziationsstärke zwischen den BAC5 und BAC6 größer als zwischen BAC4 und BAC5 oder BAC4 und BAC6. Die BACs 1; 2; 3 und die BACs 4; 5; 6 bilden zwei getrennte Cluster.

Die Positionierung in einem n -dimensionalen euklidischen Raum wird durch den Abstand der *BACs* zueinander bestimmt. Daher handelt es sich bei der *SDA-M* um eine Abstandsskalierung zwischen *BACs*. Es gilt dabei zwei grundsätzliche Verfahren zu unterscheiden. Auf der einen

Seite lässt sich eine direkte Abstandsskalierung durch einen Begriffs-Begriffsvergleich (BxB) erreichen, wobei die beziehungsstiftende Merkmale indirekt erschlossen werden. Auf der anderen Seite steht die indirekte Abstandsskalierung durch einen Begriffs-Merkmal-Vergleich (BxM). Beziehungsstiftende Merkmale liegen bereits vor und sind Teil der Abstandsskalierung. Nach Schack (2002) sind folgende Schritte notwendig, um strukturdimensionale Zusammenhänge der *BACs* zu beleuchten (vgl. Abbildung 12):

1. *Abstandsskalierung*: Zwischen den relevanten Konzepten (*BACs*) wird eine Abstandsskalierung vorgenommen. Dieses kann direkt oder indirekt erfolgen und geschieht mittels einer speziellen Splittechnik.
2. *Strukturanalyse*: In diesem Schritt erfolgt über die Erstellung einer Distanz-Matrix via direkter Abstandsskalierung, eine (hierarchische) Clusteranalyse (CA) des verwendeten Konzeptmaterials, mit dem Ergebnis eines Dendrogramms.
3. *Dimensionsanalyse*: Hauptbestandteil in diesem Analyseschritt ist die Dimensionierung der (*n*-großen) Begriffsmenge, die zum Bestandteil einer Repräsentation gehören mittels Faktoranalyse.
4. *Homogenitätsprüfung*: Abschließen wird ein intra- und interindividueller Vergleich über eine Invarianzanalyse möglich. Die Bewegungsrepräsentationen werden auf strukturelle Invarianz (Ähnlichkeit) geprüft.

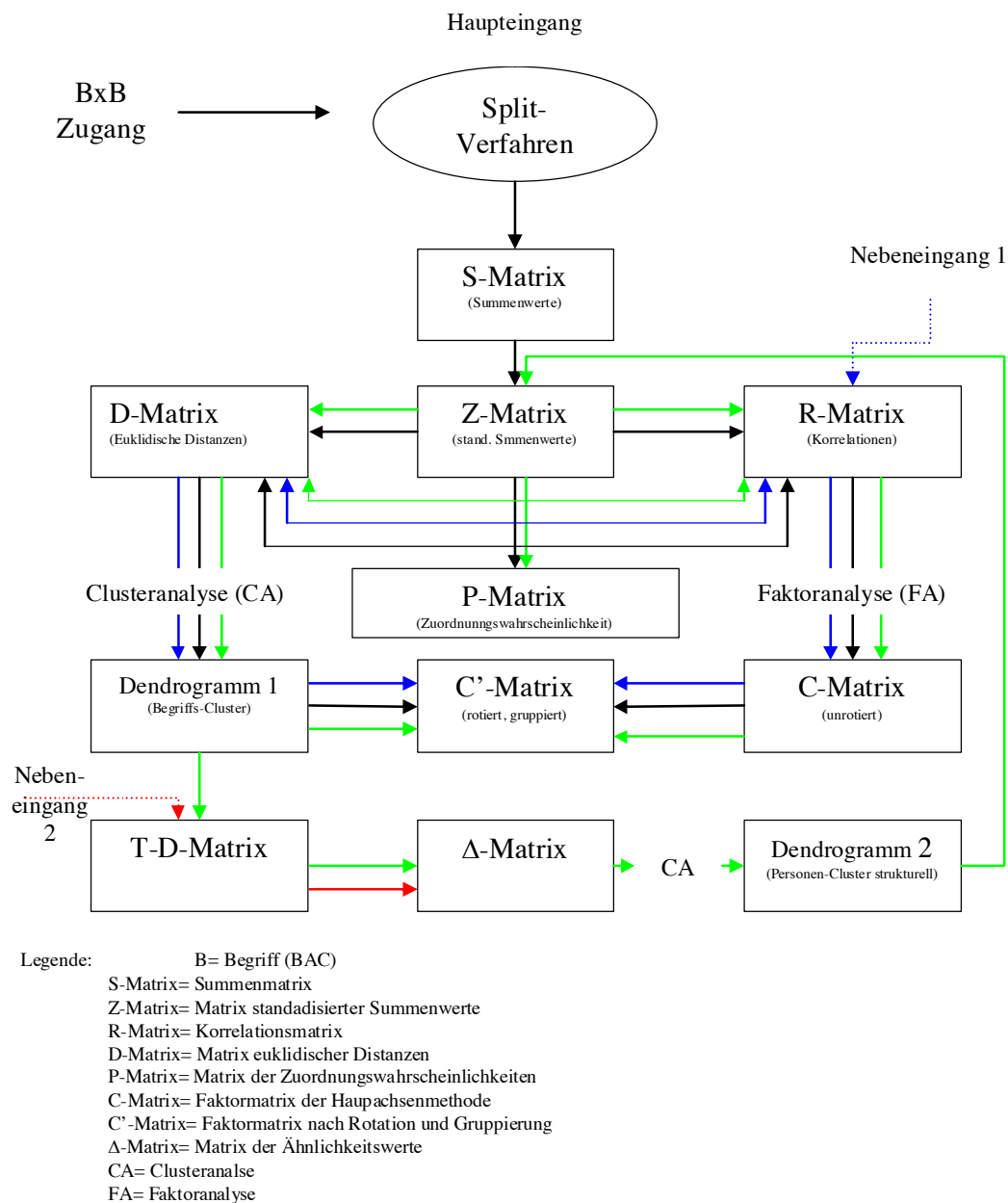


Abbildung 12 Blockdiagramm zur Veranschaulichung der einzelnen Analyseschritte zur Erfassung der strukturdimensionalen Zusammenhänge begrifflich repräsentierten Wissens mittels direkter und indirekter Skalierung sowie mittels Dateninput aus anderen Skalierungsverfahren (nach Heinen, 2005; Schack, 2002).

Im Folgenden sollen die Schritte 1, 2 und 4 noch einmal aufgegriffen und näher erläutert werden, da sie für die vorliegende Untersuchung von Relevanz sind.

Proximitätsdaten

Mit einer Abstandsskalierung zwischen den *BACs* beginnt der erste Schritt der *SDA-M*. Dabei kommt ein sukzessives Mengenaufteilverfahren mit frei wählbaren Abbruchkriterien zur Anwendung. Die Proximitätsdaten werden dabei mittels hierarchischen Split-Verfahrens gewonnen. Es gibt zwei Möglichkeiten, dass Splitverfahren durchzuführen: a) computerbasiert (vgl. Abbildung 13) und b) *paper-pencil* basiert.

Wie Eingangs schon erwähnt, kann eine direkte (BxB) oder indirekte Skalierung (BxM) vorgenommen werden. Zur Strukturierung eines definierten Begriffspools ist die direkte Skalierung zu wählen. Bei Fragen zur Merkmalsbelegung ist die indirekte Skalierung die Methode der Wahl. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, bereits skalierte Daten über einen Nebeneingang (1) als korrelierte Daten in das Datenverarbeitungsschema der *SDA-M* einzuschleusen.



Abbildung 13 Bildschirmfoto der computergestützten *SDA-M*. Der unkomplizierte Einsatz macht diese Methode zu einem vielfältigen Tool für die sportpsychologische Diagnostik.

Es ist ebenso möglich, Referenzstrukturen direkt in die T-D-Matrix einzubringen und mit anderen Datensätzen zu verrechnen (Nebeneingang (2); vgl. Abbildung 12). Beim Analyseablauf der (BxB)- und der (BxM)-Zuordnung besteht in weiten Teilen Übereinstimmung. In den folgenden Experimenten zur mentalen Repräsentation bei

schwimmsportlichen Bewegungen wurde nur die direkte Skalierung verwendet und soll daher auch in ihren Rechenschritten erläutert werden.

Experimenteller Ablauf

Auf der Basis einer definierten Begriffsmenge (N -Elemente groß; Anzahl der *BACs*) wird ein Referenzbegriff gewählt, der den sog. Anker oder *Target* darstellt. Die verbliebene Begriffsmenge ($N-1$ Elemente) wird nach einem individuell wählbaren oder vorgegebenen Ähnlichkeitskriterium zu- oder weggeordnet. Als erstes Ergebnis erhält man eine Positivliste mit n_1 -Elementen sowie eine Negativliste mit n_2 -Elementen. Diese Prozedur wird mit den gleichen Anker jeweils mit der Positiv- und Negativ-Liste weitergeführt, bis abschließend nur noch Einermengen entstehen bzw. bis ein frei wählbares Abbruchkriterium greift (Heinen, 2005; Schack 2002). Die zur Durchführung der SDA-M entwickelte Software bietet neben der einfachen Bedienung noch einen weiteren Vorteil. Sie ist in der Lage, die Reaktionszeiten bis auf die 1/1000sec zu erfassen. Durch sie ist es möglich, Reaktionszeiten und Repräsentationsstruktur in einen konkreten Zusammenhang zu untersuchen. Steht kein Computer zur Verfügung, kann eine *paper-pencil*- Variante der SDA-M genutzt werden. Entsprechend der $B \times B$ großen Begriffsmenge wird eine Matrix angelegt, in der in der Kopfspalte und der Kopfzeile jeweils die entsprechenden Begriffe randomisiert aufzutragen sind. Es entsteht eine Matrix für jede Begriffs-Begriffs Kombination, so dass die Vpn die Begriffe nur noch über die freien Felder zu- oder wegordnen müssen. Die empirische Fragestellung entscheidet über die Aufgabenstellung für die Vpn. In der Software-Variante besteht zusätzlich noch die Möglichkeit, die SDA-M mit Bildmaterial oder Videosequenzen durchzuführen (Schack, 2002).

Aufsummierung der Teilmengen

Entsprechend der Begriffsliste (N Elemente) steht jeder Begriff einmal in Referenzstellung (Anker; *Target*), als Folge entstehen N -Entscheidungsbäume (entsprechend der Begriffsmenge). Die Knoten der Entscheidungsbäume enthalten die entstandenen Teilmengen, deren Kanten mit einem positiven oder negativen Vorzeichen versehen sind, entsprechend ob sie von der Vp dem Referenzbegriff zu- oder weggeordnet wurden. Die auf den Ästen des Entscheidungsbaumes liegenden Teilmengen werden in algebraische Summen überführt, um ein Distanzmaß der sukzessiv der Referenz zu- oder weg geordneten Items auf Intervallskalenniveau zu erhalten. Die erhaltenen Werte werden dann der S-Matrix zugeführt. In der S- oder Summenmatrix stehen die jeweiligen Anker in der Kopfspalte. Um dieses zu gewährleisten, ist es nötig, die jeweiligen Zweigsummenwerte der Entscheidungsbäume für

die entsprechenden Knoten in die entsprechende Kopfspalte einzutragen. Als Ergebnis erhält man bei einem (BxB)-Zugang eine entsprechende NxN-Matrix (N bezeichnet die Anzahl der zugrunde liegenden Begriffe) (Heinen, 2005). Nach Lander (2003) sind bei der Aufsummierung der Teilmengen drei Regeln zu beachten.

1. Sich replizierende Teilmengen werden nur einmal gezählt.
2. Bei Teilmengen, die auf dem ersten Ast liegen, wird der Anker immer automatisch mitgezählt
3. Der erste Endknoten enthält daher immer nur ein Element (Referenz), ist also eine Einermenge.

Die Art der Zuordnung (positiv vs. negativ) sowie die Anzahl der Begriffe in der jeweiligen Teilmenge fließen über die Zweigsummenwerte in die Wertigkeit ein. In der Abbildung 14 wird ein Entscheidungsbaum einer Splitprozedur aufgeführt, die über eine Konzeptmenge mit 7 BACs läuft. In der Ankerstellung (Referenz) steht das zweite BACs.

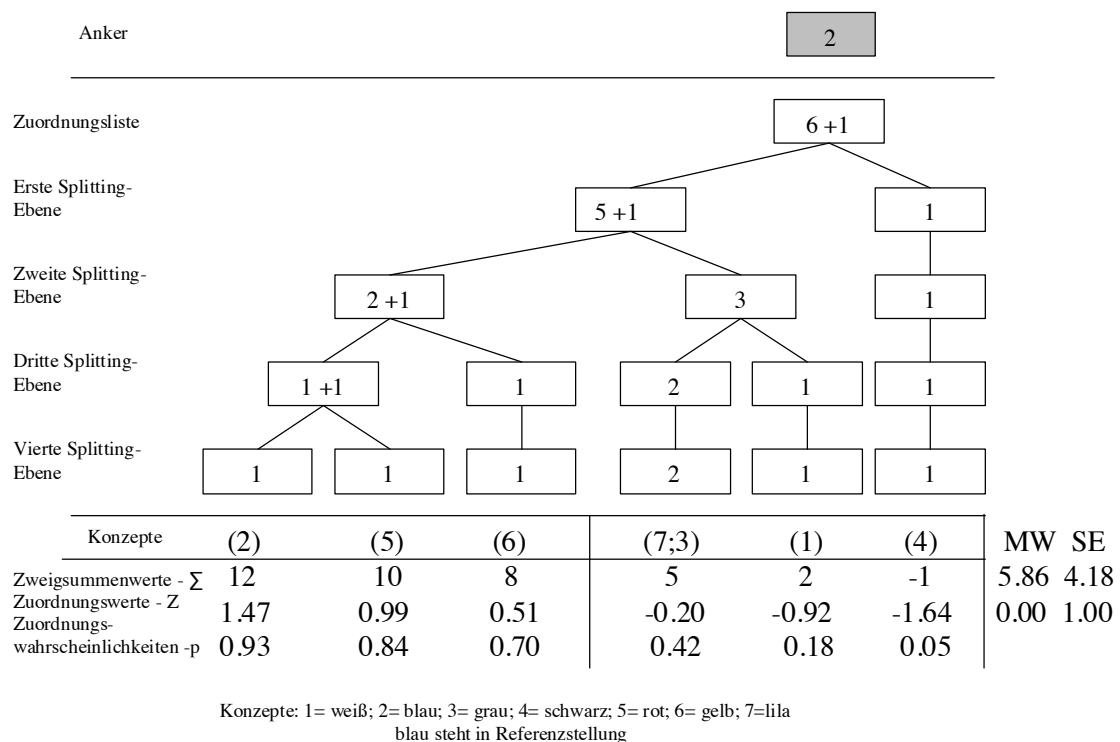


Abbildung 14 Beispiel eines Entscheidungsbaums als Ergebnis einer Split-Prozedur über 7 Konzepte mit Nummer 2 in Referenzstellung ($p_{krit} = .62$; MW= Mittelwert; SE= Standardfehler; nach Heinen (2005).

Die Zweigsummenwerte ergeben sich wie bereits oben beschrieben. Die Zuordnungsliste ist auf der obersten Ebene in der Abbildung 14 als 6 + 1 dargestellt. Nach den Konventionen von Lander (2003) soll dort immer der Anker automatisch positiv mitgezählt werden. In der Zuordnungsliste der Experimentalsoftware erscheint er nicht. Am Ende der Prozedur enthält das in Referenzposition stehende Konzept (BAC, 2) den höchsten Summenwert mit $S_2 = (5+1) + (2+1) + (1+1) + 1 = 12$. Das Item (4), das bereits auf der ersten Splitting-Ebene in der Negativ-Liste geordnet wurde erhält den Summenwert $S_4 = -1$, bezogen auf das Target (2) und das Item (6) erhält den Summenwert $S_6 = (5+1) + (2+1) - 1 = 8$. Über die Splittingprozedur ergeben sich die restlichen Summenwerte.

Zuordnungswerte (Z) und Zuordnungswahrscheinlichkeiten (p)

Nachdem die Zweigsummenwerte in die S-Matrix aufsummiert wurden, erfolgt aus Normierungsgründen eine Z-Transformation. Die sich daraus ergebenden Werte aller N Entscheidungsäste werden in einer Z-Matrix zusammengefasst. In der Kopfspalte stehen dabei die N Begriffe in Ankerstellung und in der Kopfzeile die zugeordneten Begriffe (BxB-Zugang; Merkmale beim BxM-Zugang).

In der S-Matrix sowie in der Z-Matrix stellt i die jeweilige Zeile bezogen auf den Anker dar und j markiert die Spalte. Der Mittelwert \bar{x}_i der jeweiligen Zeile der Summenmatrix und der entsprechende Standardfehler σ_i sind vor der Z-Transformation zu bestimmen. Für das in der Abbildung 14 gewählte Beispiel ergibt sich bei Anker (2) ein Mittelwert von $\bar{x}_2 = 5.86$ und ein Standardfehler $\sigma_2 = 4.18$. Somit ergibt sich ein Z-Wert für Konzept 6 beim Anker (2) von $z_{26} = (8 - 5.86) / 4.18 = 0.51$, was dem Wert in Abbildung 14 entspricht.

Die Z-Werte können, unter der Annahme einer Standardnormalverteilung, über das Wahrscheinlichkeitsintegral der Normalverteilung in Zuordnungswahrscheinlichkeiten p_{ij} transformiert werden (Bortz, 1999; Lander & Lange, 1992):

$$p_{ij} = \int_{-\infty}^{\bar{z}_{ij}} f(z) dz = \int_{-\infty}^{\bar{z}_{ij}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-z^2/2} dz \quad i, j = 1, 2, \dots, N.$$

Die Funktionswerte der Standardnormalverteilung sind in der oben dargestellten Formel für die unterschiedlichen Z-Werte als $f(z)$ bezeichnet. Die Werte für p_{ij} liegen zwischen 0 und 1. Die Fläche unter der Normalverteilung in der Abbildung 14 entspricht $-\infty$ bis $z_{22} = 1.47$ und

entspricht einem p-Wert von $p_{22} = 0.4 \cdot \int_{-\infty}^{1.47} e^{-z^2/2} dz = 0.93$. Bei der direkten

Abstandsskalierung (BxB) durchläuft i wie bisher die einzelnen Begriffe ($i= 1,2, \dots, N$) und j die einzelnen Merkmale ($i= 1,2, \dots, m$). In der Kopfspalte der P-Matrix stehen dabei die Ankerbegriffe und in der Kopfzeile die zugeordneten Begriffe, beide jeweils nach B-Clustern geordnet (s.u.). Zur Bestimmung der Zuordnungswahrscheinlichkeiten wird ein zufallskritischer Wert $p_{krit} = 0.622$ (Lander & Huth, 1999; Schack, 2002) definiert. Dieser Wert gibt das Falsifikationskriterium der Nullhypothese $H_0 : p = 0$ an. Eine überzufällige Beziehung zu einem Referenzbegriff ist ab einer Zuordnungswahrscheinlichkeit von $p_{ij} \geq p_{krit}$ erreicht. Der senkrechte Strich in Abbildung 14 ist der p_{krit} - Wert, der in der Zeile die Zuordnungswahrscheinlichkeiten markiert. Daraus lässt sich ersehen, das in dem gewählten Beispiel in Abbildung 14 die Begriffe 5 und 6 in einer überzufälligen Beziehung zum Referenzbegriff (Begriff 2) stehen.

Strukturanalyse

Mit Hilfe einer hierarchischen Clusteranalyse wird das verwendete Konzeptmaterial im Folgenden strukturiert. Entscheidend sind die Repräsentationsannahmen der Versuchspersonen. Die Ähnlichkeit der Elemente des BAC-Pools soll die Basis für die Einteilung in Gruppen sein. Die Gruppen sollten dabei möglichst homogen und gut voneinander separierbar sein. Bei der Clusteranalyse wird in der Regel zunächst ein entsprechendes Ähnlichkeitsmaß gewählt. Anschließend wird der Fusionierungsalgorithmus festgelegt. Nach Bortz (1999) bietet es sich an, das Euklidische Distanzmaß zu verwenden, da aufgrund seiner quadrierten Differenzwerte der Einfluss großer Differenzen stärker gewichtet wird. Dabei sind zwei BACs (i und j) durch Messungen auf jeweils k intervallskalierten Merkmalen beschrieben (Z-Matrix) und können somit durch das euklidische Abstandsmaß miteinander in Beziehung gesetzt werden:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum (z_{ij} - z_{jk})^2} \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad k = 1, 2, \dots, M$$

Die Distanzmaße (d_{ij}) entsprechen dem errechneten euklidischen Abstand zweier BACs. Die Merkmalsausprägungen der beiden BACs i und j sind durch z_{ik} und z_{jk} auf dem Merkmal k repräsentiert. Die Anzahl der verwendeten Begriffe wird durch N symbolisiert. Aus der Transformierung der Z-Matrix resultiert eine D-Matrix, die entlang der Diagonalen d_{11} und d_{NN} symmetrisch ist und dabei die wechselseitigen Distanzen aller BACs in sich vereint. Mit der gleichen Basis, der Z-Matrix, wird der enge Zusammenhang der R-Matrix und der D-Matrix deutlich. In der R-Matrix wird die wechselseitige Korrelation der N -BACs über eine Korrelationsmatrix dargestellt, die durch die Merkmalszuordnung gestiftet wird. Zwischen der

D-Matrix und der R-Matrix besteht prinzipiell eine funktionelle Gleichwertigkeit. Wie die D-Matrix so ist auch die R-Matrix symmetrisch entlang der Diagonalen von r_{II} und r_{NN} .

Die Clusteranalyse der SDA-M erfolgt bezogen auf den Fusionierungsalgorithmus hierarchisch-agglomerativ im *unweighted average linkage*-Modus (Backhaus, Erichson, Plinke, Schuchard-Ficher, & Weiber, 1987; Leuschner, 1974). Die Basis dieser Analyse ist die D-Matrix. Die Bildung der Cluster wird aufsteigend vorgenommen. Die kleinsten Distanzen zweier *BACs* in der D-Matrix werden fusioniert und die restlichen *BAC*-Verknüpfungen unter Beibehaltung des *average*-Merkmals neu berechnet:

$$d_{ab,c} = (d_{ac} + d_{bc})/2$$

Die *BACs* mit der rechnerisch ermittelten kleinsten Distanz zueinander werden a und b bezeichnet. c symbolisiert eines der übrigen *BACs*. Das Ergebnis daraus ist zunächst eine um eine Spalte und eine Zeile verkleinerte D-Matrix. Dieser Vorgang wird wiederum mit den verbliebenen *BACs* fortgeführt, die in der verkleinerten D-Matrix die kleinsten Distanzen aufweisen, bis alle Items fusioniert sind. Das daraus entstehende Dendrogramm ist ein Abbild der jeweiligen Fusionsdistanzen und den zugehörigen fusionierten Items. Auf der Basis der R-Matrix wird nach Lander (2003) eine Trennung der Cluster über einen distanzkritischen Wert durchgeführt. In einem ersten Schritt lässt sich dabei für eine Nullhypothese der wechselseitigen Korrelationen $H_0 : r = 1$ ein zufallskritischer Wert r_{krit} definieren:

$$r_{krit} = \frac{(N-2) - t^2(\alpha, N-2, 2)}{(N-2) + t^2(\alpha, N-2, 2)} \quad (N-2) > t^2$$

α stellt einen Entscheidungsparameter dar, der entsprechend der Fragestellung zu wählen ist ($\alpha = 0.05$ bzw. 0.01). Der t-Wert ist gemäß der Anzahl der Freiheitsgrade ($N - 2$) der t-Tabelle zu entnehmen (für den 1% und 5%-Fall wurden die Werte für r_{krit} und d_{krit} in Tabelle 2 zusammengestellt). Für die Clusteranalyse gilt demnach, dass zwei Begriffe ähnlich sind und fusioniert werden können, wenn die kritische Schwelle r_{krit} erreicht oder überschritten wird.

Tabelle 2 Exemplarische Darstellung von distanz- und korrelationskritischen Werten zur Festlegung der Clusterung. N beschreibt die Anzahl der geclusterten Items. Die Werte sind für Signifikanzniveaus von 1% und 5% dargestellt (Heinen, 2005).

| <i>N</i> | <i>N-2</i> | <i>t</i> (5%, <i>N-2</i> , 2) | <i>r</i> _{krit} , 5% | <i>d</i> _{krit} , 5% | <i>t</i> (1%, <i>N-2</i> , 2) | <i>r</i> _{krit} , 1% | <i>d</i> _{krit} , 1% |
|----------|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 5 | 3 | 2.353 | -.297 | 3.602 | 4.541 | -.746 | 4.178 |
| 6 | 4 | 2.132 | -.064 | 3.573 | 3.747 | -.557 | 4.322 |
| 7 | 5 | 2.051 | .104 | 3.542 | 3.365 | -.387 | 4.407 |
| 8 | 6 | 1.943 | .228 | 3.515 | 3.143 | -.244 | 4.462 |
| 9 | 7 | 1.895 | .322 | 3.494 | 2.998 | -.124 | 4.499 |
| 10 | 8 | 1.860 | .396 | 3.475 | 2.896 | -.024 | 4.525 |
| 11 | 9 | 1.833 | .456 | 3.458 | 2.821 | .061 | 4.544 |
| 12 | 10 | 1.812 | .506 | 3.444 | 2.764 | .134 | 4.559 |
| 13 | 11 | 1.796 | .547 | 3.434 | 2.718 | .196 | 4.571 |
| 14 | 12 | 1.782 | .581 | 3.423 | 2.681 | .251 | 4.580 |
| 15 | 13 | 1.771 | .611 | 3.415 | 2.650 | .299 | 4.587 |

Ein kritischer Distanzwert (d_{krit}) kann durch Transformation des kritischen Korrelationswertes (r_{krit}) dargestellt werden (Osgood & Suci, 1952):

$$d_{krit} = \sqrt{2N} \sqrt{1 - r_{krit}}$$

Die passend formulierte Nullhypothese $H_0 : d = 0$ ermöglicht Vergleiche der d_{ij} -Werte mit d_{krit} , wodurch nur diejenigen Items als Cluster fusioniert werden, deren wechselseitige Distanzen unterhalb des kritischen Werts liegen. Durch die Wahl von α ist die Schwelle dieses kritischen Werts variierbar.

Gruppenanalyse mittels paarweisem B-Cluster-Lösungs-Vergleich

Zur Prüfung zweier individueller Clusterlösungen auf strukturelle Ähnlichkeit (Invarianz) ist zunächst die Definition eines adäquaten Invarianzmaßes notwendig. Die strukturelle Invarianz ist abhängig von a) der relativen Anzahl gemeinsamer Items über alle bildbaren Clusterpaare zweier Clusterlösungen (τ_{ik}), b) der relativen Anzahl gemeinsamer Items zweier Clusterlösungen (v_{ik}) und c) dem Clustermengenverhältnis zweier individueller Clusterlösungen (κ_{ik}) (Heinen, 2005, modifiziert nach Schack, 2002; Lander, 2003). Das Invarianzmaß λ wird dabei wie folgt berechnet:

$$\lambda_{ik} = \sqrt{\tau_{ik} \cdot v_{ik} \cdot \kappa_{ik}} \quad 0 \leq \lambda_{ik} \leq 1$$

Das Maß für die relative Anzahl gemeinsamer Items über alle bildbaren Clusterpaare zweier Clusterlösungen wird als τ_{ik} beschreiben. Die relative Anzahl gemeinsamer Items zweier Clusterlösungen wird durch v_{ik} dargestellt. Das Mengenverhältnis zweier individueller Clusterlösungen wird durch κ_{ik} dargestellt (s.u.). Das Invarianzmaß λ kann zwischen 0 und 1 liegen. Wobei ein Wert von 0 keine Übereinstimmung und der Wert 1 größte Übereinstimmung bedeutet. Ab einem Schwellenwert $\lambda_{ik} \geq \lambda_{krit} = 0.683$ (Schack, 2002) wird die Invarianz zweier Clusterlösungen angenommen. Soll λ berechnet werden, so müssen nun noch die beiden Größen unter der Wurzel bekannt sein:

$$\tau_{ik} = \left[\sum_{C_i, C_{k=1}}^{r,s} \frac{n_{ik}}{\sqrt{n_i n_k}} \right] / n_{real} \quad 0 \leq \tau_{ik} \leq 1$$

τ_{ik} ist der Ausdruck, der für ein modifiziertes gewichtetes arithmetische Mittel der relativen Durchschnittsmengen über alle bildbaren Clusterpaare zweier Clusterlösungen i und k steht. Bei gemeinsamen Elementen von jedem Clusterpaar zweier Clusterlösungen ist der Ausdruck $\frac{n_{ik}}{\sqrt{n_i n_k}}$ zu bilden. Die Anzahl der gemeinsamen Elemente eines Clusterpaares ist n_{ik} . n_i ist die Anzahl der Elemente in dem zugehörigen Cluster der i -ten Versuchsperson. n_k ist entsprechend die Anzahl der Elemente in dem zugehörigen Cluster der k -ten Versuchsperson. Über alle Clusterpaare werden die Ausdrücke $\frac{n_{ik}}{\sqrt{n_i n_k}}$ aufsummiert und anschließend durch die Anzahl der Clusterpaarkombinationen mit gemeinsamen Elementen dividiert (n_{real}).

Unter normalen Umständen stimmen bei zwei Clusterlösungen die Anzahl gemeinsamer Items mit der Gesamtanzahl der Items überein, vorausgesetzt, dass bei beiden Clusterlösungen alle Items geclustert werden ($v_{ik} = 1$). Bei spezieller Bewegungsvorstellung kann es jedoch vorkommen, dass eine Versuchsperson ein Item als sog. *single* klassifiziert, weil ihm z.B. in der Bewegungsrepräsentation keine Funktion zugeordnet wird, es wird somit nicht zur Strukturbildung beitragen. Eine andere Möglichkeit ist, dass ein Cluster extrem große Distanzwerte bildet und dieser aus der Clusterung herausfällt. Somit ergibt sich für $v_{ik} < 1$:

$$v_{ik} = \frac{N_{ik}}{\sqrt{N_i N_k}} \quad 0 \leq v_{ik} \leq 1$$

v_{ik} ist ein wichtiger Parameter für zwei Clusterlösungen, welcher eine Gewichtung gemeinsamer Items vornimmt. Er ist der Quotient der Anzahl gemeinsamer Items N_{ik}

(unabhängig davon wie viele Cluster sich bilden) zur Wurzel der Anzahl der Items von VP i multipliziert mit der Anzahl der Items bei VP k berechnet.

Das Mengenverhältnis zweier individueller Clusterlösungen κ_{ik} wird durch den Quotienten der Anzahl minimaler Cluster zur Anzahl maximaler Cluster in den beiden Clusterlösungen i und k beschrieben:

$$\kappa_{ik} = \frac{\min(i,k)}{\max(i,k)} \quad 0 \leq \kappa_{ik} \leq 1$$

Ein Wert von $\kappa = 1$ gibt an, dass die Anzahl der Cluster in beiden Fällen gleich ist. $\kappa = 0$, bedeutet dass eine Clusterlösung keine Cluster enthält. Sollten in beide Clusterlösungen keine Cluster gebildet werden können, so ist der Quotient von κ nicht definiert. Das Invarianzmaß wird dann automatisch auf 1 gesetzt.

Der Invarianzwert wird schließlich aus τ , ν und κ berechnet. Jedoch ist zu beachten, dass ein Fall eintreten kann, wenn bei einem Clustervergleich zwei oder mehrere identische Cluster auftreten: Damit das Invarianzmaß nicht unterschätzt wird, sind dann bei jeder VP des Vergleiches die identischen Cluster zu einem Cluster zu vereinigen. Aus den Invarianzwerten von N Clustervergleichen wird dann die Invarianzmatrix generiert, die Werte, die dem Invarianzkriterium genügen sind separat zu markieren. Im abschließenden Schritt des strukturellen B-Cluster-Lösungsvergleiches werden in einer Δ -Matrix die Komplementärwerte von allen λ_{ik} zu Eins aufgeführt:

$$\delta_{ik} = 1 - \lambda_{ik} \quad 0 \leq \delta_{ik} \leq 1$$

In der oben abgebildeten Formel lässt sich die kritische Grenze für die Komplementärwerte als $\delta_{krit} = 1 - \lambda_{krit} = 0.317$ finden. Durchläuft die Δ -Matrix eine Clusteranalyse, so erhält man als Ergebnis ein Personen-Dendrogramm, in dem die Ordinate die δ -Werte und die Abszisse (Ende der Dendrogramm-Äste) die jeweiligen Personenbezeichnungen enthält. Ein Personen-Cluster liegt nach obiger Konvention vor, wenn $\delta_{ik} < \delta_{krit}$ ist. Diese Personencluster stellen Subgruppen von Individuen mit annähernd homogenen Clusterlösungen dar.

Ermittlung subgruppenspezifischer Begriffsclusterlösungen

Eine weitere Option zur Auswertung der zuvor ermittelten Daten ist die Bestimmung der subgruppenspezifischen Clusterlösungen. Die SDA-M ermöglicht dabei eine Gruppierung der Datensätze im Vorfeld der Analyse (z.B. nach Geschlecht, Expertise, etc.) oder post-hoc nach der Invarianzanalyse. Zunächst werden die individuellen Z-Matrizen der Personen einer Subgruppe gemittelt um eine mittlere Clusterlösung zu erhalten.

$$\bar{z}_{i,k,G} = \frac{1}{n_G} \sum_G z_{i,k}, \quad \sum_{k=1}^N \bar{z}_{i,k,G} = 0$$

Bei einem (BxB)-Zugang laufen i und j von 1 bis N . Die Gruppenstärke wird über n_G angegeben. Zur Bestimmung des Standardfehlers ist folgende Formel zu verwenden:

$$\sigma(\bar{z}_{i,k,G}) = \sqrt{\frac{1}{n_G} \sum_{k=1}^N z_{i,k,G}^{-2}}$$

Die Werte, die bestimmt wurden, werden noch einer Renormierung unterzogen, damit die Voraussetzung $MW = 0$ und $SD = 1$ erfüllt ist:

$$z'_{i,k,G} = \frac{\bar{z}_{i,k,G}}{\sigma(\bar{z}_{i,k,G})} \quad i=1,2,\dots,N$$

Da erneut eine Matrix mit Z-Werten vorliegt, werden alle weiteren Schritte wie oben beschrieben vorgenommen. Mittels der Strukturanalyse lassen sich subgruppenspezifische Begriffsclusterlösungen ermitteln. Gleiches gilt für die Dimensionsanalyse (entfällt beim (BxM)-Zugang). Das Ergebnis ist dann eine nach Clustern geordnete Faktormatrix für jede Subgruppe. Für die Zuordnungswahrscheinlichkeiten erhält man eine nach Clustern geordnete subgruppenspezifische P-Matrix. Abschließend können mittels des paarweisen B-Cluster-Vergleichs die subgruppenspezifischen B-Clusterlösungen gegeneinander auf Invarianz geprüft werden.

3.2.2 Erfassung kortikaler Verarbeitungsprozesse (EKP)

Auf der Suche nach neurophysiologischen Korrelaten bei der Verarbeitung von Bewegungswissen kommt das Elektroencephalogramm (EEG) zum Einsatz. Schon Anfang des vergangenen Jahrhunderts ist Hans Berger die Ableitung von Gehirnströmen am Menschen gelungen (Berger, 1929), im Tierexperiment bereits schon 1875 (Caton, 1875). Seither wurde die Methode zur Erfassung hirnpfysiologischer Korrelate der Verarbeitung verschiedenster kognitiver Zustände wesentlich verfeinert, um den heutigen wissenschaftlichen Anforderungen zu genügen. Einen großen Entwicklungsschub in der Methodik erfuhren das Elektroencephalogramm (EEG) und seine diagnostische sowie wissenschaftliche Relevanz mit einer computergestützten Auswertetechnik. Die Möglichkeit, sehr genaue Aussagen über das Zeit-Reizverhältnis zu machen und somit cerebrale Reaktionen nach erfolgtem Reiz genau zu zuordnen, wurde schon in zahlreichen

Experimenten und Untersuchungen geleistet (Seifert, 2005). Hier und im Folgenden soll in erster Linie die nicht invasive Methode betrachtet werden, da im Vordergrund der Untersuchungen die körperliche und geistige Unversehrtheit der Versuchsteilnehmer steht.

Die an der Schädeloberfläche ableitbaren Spannungen sind auf die Anordnung von Pyramidenzellen in der oberen Kortexschicht zurückzuführen. Für die Entstehung des EEGs sind dabei die an den apikalen Dendriten auftretenden *postsynaptischen Potentiale* verantwortlich (Birbaumer & Schmidt, 2004). Man unterscheidet zwei Potentialarten. Das *exzitatorisch postsynaptische Potential* (EPSP), welches auftritt, wenn eine Nervenzelle zum feuern angeregt wird. Das *inhibitorische postsynaptische Potential* (IPSP), welches auftritt, wenn eine Zelle am feuern gehindert wird (vgl. Abschnitt 2.2.2). Unter Beachtung, dass 95% der Synapsen von Pyramidenzellen exzitatorisch sind, kann man davon ausgehen, dass das EEG eben auch aus Signalen dieser Potentiale zurückzuführen ist. Die Entstehung der jeweiligen Potentiale hängt von den Synapsen und dem Botenstoff ab (Nicholls et al., 2002). Dabei reicht die Aktivität einer Nervenzelle bei weitem nicht aus, damit ein Potential an der Schädeloberfläche zu registrieren ist. Es müssen schätzungsweise 10000 Nervenzellen zeitgleich aktiv sein, die zudem die gleiche Ausrichtung haben und keine zu große Distanz zur Kopfoberfläche haben (Birbaumer & Schmidt, 2004; Seifert, 2005).

Die medizinische Diagnostik nutzt schon seit langem die Möglichkeit der Untersuchung des spontanen EEGs (Ebe & Homma, 2002). Betrachtungen des spontanen EEGs finden sich auch in der sportwissenschaftlichen Literatur. Hier werden in erster Linie frequenzanalytische Betrachtungen des EEGs vorgenommen die z.B. im Zusammenhang mit mentalen Simulationsaufgaben getätigt wurden (z.B. Beyer, Weiss, Hansen, Wolf, & Seidel, 1990; Cremades, 2002; Popivanov, Dushanova, & Sauleva, 2001). Neben dem spontanen EEG werden in Untersuchungen mit überwiegend wissenschaftlicher Fragestellung auch ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) betrachtet. Ihre recht kleinen Potentiale werden durch die Aktivität des Spontan-EEGs überdeckt. Das EKP ist Ausdruck hirnelektrischer Aktivität, die mit zeitlicher Kopplung vor und nach bestimmten Ereignissen auftreten (Hegerl, 1998; Näätänen, 1987). Es ist allgemein anerkannt, dass das EKP Ausdruck kognitiver Aktivität ist (Coles & Rugg, 1995). Da die cerebralen Vorgänge bei der Aktivierung von Bewegungswissen im Wesentlichen noch nicht geklärt sind, soll in den folgenden Experimenten die Messung und Analyse von EKPs und somit die EKP-Methode zum Einsatz kommen (Mechau, 2001).

Durch Mittelungstechniken, die auf zuvor definierte Teilstücke des EEGs angewendet werden, ist es möglich, Potentialkomponenten zu extrahieren, die als Reaktionen auf eindeutige Ereignisse gewertet werden können (vgl. Abbildung 15). Die Hintergrundaktivität des EEGs wird dabei gegen Null gemittelt (Knight, 1985). Die EKPs gelten als hirnelektrische Korrelate von Reizverarbeitungsprozessen (Coles & Rugg, 1995; Sutton, Baren, Zubin, & John, 1965), in deren Potentialverläufen die Amplitudenhöhen in einer Größe von 1-30 μV variieren können (Näätänen, 1987).

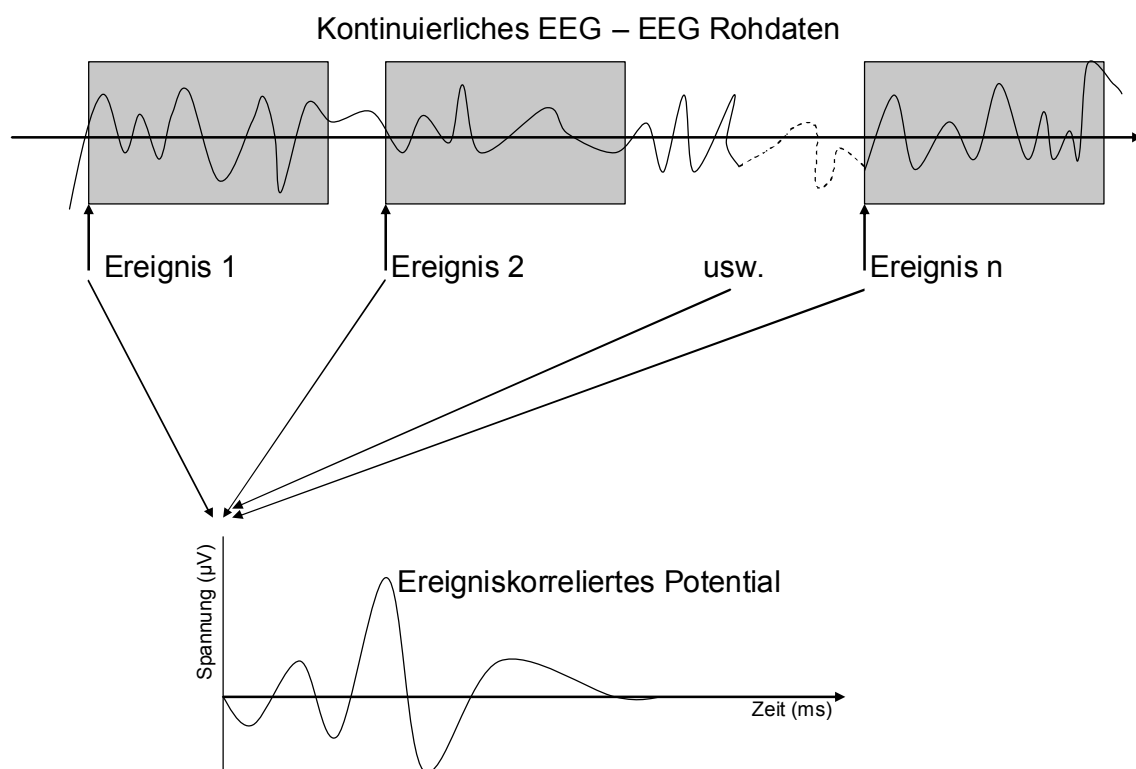


Abbildung 15 Schematische Darstellung der Mittelungstechnik. Ereignisbezogene Epochen (grau unterlegt) werden zu einem Ereigniskorrelierten Potential verrechnet (modifiziert nach Luck, Woodman, & Vogel, 2000).

Die positiven und negativen Spannungsgipfel sowie deren zeitliche Terminierung werden auch als Komponenten bezeichnet und folgend beschrieben. Dabei lassen sich zwei Komponentenklassen unterscheiden:

Exogene Komponenten treten mit einer Latenz von unter 100ms nach einem Ereignis auf. Sie hängen von den physikalischen Eigenschaften des Reizes (Ereignisses) ab und spiegeln die Verarbeitung in den entsprechenden Strukturen wieder (Abbildung 17) (Basar & Roth, 1996; Coles, Gratton, & Fabiani, 1990; Coles & Rugg, 1995). Endogene Komponenten schließen

sich zeitlich den exogenen Komponenten an und treten ~ab 100ms nach dem Ereignis auf. Diese Komponenten sind von den physikalischen Eigenschaften des Reizes unabhängig und spiegeln vielmehr die damit in Verbindung stehenden höheren Verarbeitungsprozesse wieder (Hillyard & Kutas, 1983).

Hirnelektrische Potentialverschiebungen, die reproduzierbar unter gleichen Bedingungen nach zeitlich exakt definierten Ereignissen auftreten, können spezifischen Hirnfunktionen sowie Hirnregionen zugeordnet werden (Mechau, 2001). Die auf der Schädeloberfläche registrierten EKPs repräsentieren die Summe der kortikalen Feldpotentiale, die mit der Aktivität umfangreicher Neuronensembles assoziiert werden. Für die Entstehung des EEGs und den in weiteren Verarbeitungsschritten gewonnenen EKPs sind die an den apikalen Dendriten auftretenden postsynaptischen Potentiale wie bereits oben beschrieben verantwortlich (Birbaumer & Schmidt, 2003). Allerdings lassen sich nicht alle kortikalen Aktivitäten mit dem EEG erfassen, da für ihre Erfassung ausreichend große Neuronenpopulation synchron arbeiten müssen.

Elektrodenplatzierung und Referenz

Zur Gewinnung eines EKPs reichen prinzipiell zwei auf dem Schädel platzierte Elektroden aus – man benötigt nur die Spannungsunterschiede (gemessen in Volt) zwischen den zwei Elektroden. In der Regel orientiert man sich am 10-20 System (Jasper, 1958). Die grundsätzliche Orientierung ist dabei frontal (F) – zentral (C) – temporal (T) – parietal (P) – okzipital (O) für die Region und Nummern für die seitliche Ebene (Näätänen, 1987) (vgl. Abbildung 16). Dabei stehen die geraden Nummern für die linke Hemisphäre, z für die Mittellinie und ungrade Nummern für die rechte Hemisphäre.

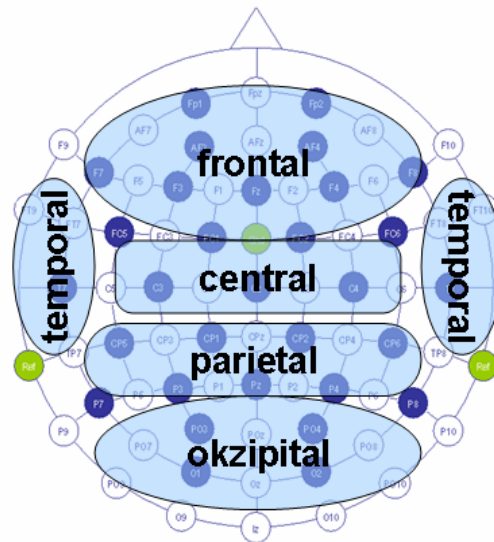


Abbildung 16 Regionale Einteilung und Elektrodenverteilung der EEG-Ableitung auf der Kopfoberfläche.

Da es sich bei der Ableitung eines EEGs um das Messen von Spannungsunterschieden handelt, benötigt man auch immer eine Referenz (Neundörfer, 2002). Häufig werden die verbundenen Mastoiden (der Knochen hinter dem Ohr) oder die Ohrläppchen als Referenzpunkte gewählt (Ableitpunkte A1 und A2), so auch in den folgenden Experimenten. Eine Masselektrode soll die Messung gegen Störeinflüsse zusätzlich absichern (Seifert, 2005; Thompson, Steffert, Ros, Leach, & Gruzelier, 2008; Zschocke, 2002).

Aufbereitung des EEG-Signals für die EKP-Methode

Über einen Vorverstärker werden die an der Schädeloberfläche abgeleiteten Signale kontinuierlich verstärkt. Damit ist es möglich, das recht kleine EEG Signal auch über längere Strecken zu transportieren. Im nächsten Schritt wird über einen Differenzverstärker die endgültige Verstärkung vorgenommen. Die übliche Arbeitsweise eines Differenzverstärkers beruht auf der Tatsache, dass er eine Verstärkung zwischen zwei Punkten vornimmt (Referenz und Messelektrode). Der Vorteil des Differenzverstärkers liegt darin, dass er bereits wie ein Filter arbeitet, der mögliche Störsignale nach dem Prinzip der *Gleichtaktunterdrückung* eliminiert. Ohne diese *Gleichtaktunterdrückung* wäre das EEG aufgrund des Signal-Rausch-Verhältnisses nicht für eine Auswertung zu verwenden. Um bestmögliche Signale zu erhalten, wurde eine Masselektrode festgelegt (Seifert, 2005).

Im nächsten Verarbeitungsschritt wird das analoge Signal in ein digitales überführt. Durch diesen Schritt kann das Signal durch Computertechnik aufgezeichnet und anschließend je nach

Anforderung online oder offline ausgewertet werden. EEG-Signale sind analog und kontinuierlich, was für die Aufzeichnung ein großes Problem aufwirft. Will man das Signal vollständig abbilden, müssten unendlich viele Messpunkte gespeichert werden, was bei dem heutigen Stand der Technik nicht möglich ist. Man behilft sich mit einem Analog-Digital-Wandler (A-D-Wandler). Der A-D-Wandler digitalisiert die EEG-Signale nach zwei Gesichtspunkten: 1. Abtastrate und 2. Quantisierung. Die Abtastrate ist der Wert, mit dem in festen Zeitabschnitten das EEG-Signal eingelesen und gespeichert wird. In den meisten Fällen wird mit einer Abtastrate von 256Hz gearbeitet (Ebe & Homma, 2002; Seifert, 2005). D.h. es wird 256-mal in der Sekunde ein Wert an der Elektrode abgelesen. Die erfassten Messwerte bilden dann die Basis für die Konstruktion des Potentialverlaufes. Über die Quantisierung wird nicht nur die Auflösung entlang der Zeitachse festgelegt, sondern auch die Auflösung auf der Volt-Achse. Der für die Experimente verwendete Verstärker besitzt eine Genauigkeit von 16bit. Somit stehen pro Messzeitpunkt 2^{16} Werte zur Verfügung, um die Amplituden abzubilden. Der Amplitudenbereich ist auf den Messwert $\pm 1000\mu V$ festgelegt. Daraus ergibt sich: $2000 : 65000 = 0.03\mu V$ als Wert für die Genauigkeit der Amplituden.

Filter

Ein abgeleitetes EEG setzt sich aus verschiedenen Signalanteilen zusammen, denen unterschiedliche Frequenzen zugrunde liegen. In den nachfolgend vorgestellten Experimenten sollen die extrahierten EKP nach den Parametern der Latenz, Amplitudenhöhe und Polarität ausgewertet werden. Zudem werden prominente Komponenten bestimmt.

Bei der Ableitung des EEG-Signals werden Frequenzen abgeleitet, die für die EKP-Forschung nicht interessant sind (Kischka, Wallesch, & Wolf, 1997). Daher wird das EEG gefiltert, so dass störende Aktivitäten oberhalb und unterhalb ausgewählter Frequenzen abgeschwächt werden (Seifert, 2005). Des Weiteren werden die eingesetzten Filter dazu verwendet, die Aktivität von Artefakten im EEG-Signal abzuschwächen oder ganz zu beseitigen. Als Artefakte können alle diejenigen Erscheinungen im EEG-Signal angesehen werden, die nicht mit der hirnelektrischen Aktivität im Versuchsaufbau in Verbindung stehen. Mögliche Quellen für Artefakte sind Muskelaktivitäten und Körperbewegungen, die in der Regel Signale produzieren, die um ein vielfaches höher sind als die EEG-Signale (Hegerl, 1998). Unter Umständen können sie auch Frequenzen produzieren, die im EEG-Signal erscheinen. An dieser Stelle soll noch einmal der Hinweis auf eine genaue Versuchskontrolle gegeben werden, ohne die eine ordnungsgemäße Erfassung hirnelektrischer Aktivität nicht möglich scheint. Selbst bei sorgfältigster Kontrolle der Versuchsbedingungen lässt sich eine Gruppe

von Artefakten nicht vermeiden. Die Bewegungen der Augen und der Augenlider schlägt sich unmittelbar in den EEG-Signalen nieder.

Okularbereinigung

Durch Blinzel- und Augenbewegung entstehen in den aufgezeichneten EEG-Signalen Artefakte. Das Auge selbst fungiert wie ein elektrischer Dipol, mit negativer und positiver Ladung. Dieses elektrische Feld, das von vorn (frontal) nach hinten (okzipital) wandert, wird mit den EEG-Signalen aufgezeichnet und stört somit die Ableitung hirnelektrischer Aktivität. Zur Bereinigung des EEGs von Augenartefakten wird eine Filtertechnik von Gratton et al. (1983) verwendet. Die aus der Augenbewegung stammenden Artefakte werden auch EOG-Artefakte genannt. Die Kontrolle und die spätere Beseitigung dieser Artefakte macht eine Ableitung eines EOGs (Elektro- Okulo- Gramm) nötig (Hegerl, 1998).

Komponentenbestimmung

Die Bestimmung von Komponenten im EKP ist ein kontrovers diskutierter Aspekt in der EEG-Forschung. Was ist eine Komponente? Die einfachste Antwort auf diese Frage ist, dass man sich innerhalb eines Potentialverlaufs einen Peak festlegt, dem aufgrund der gleichzeitig aufgezeichneten Verhaltensdaten eine gewisse Schlüsselfunktion zugeordnet werden kann. Mit einer einfachen Messung lassen sich diese Komponenten über die Amplitude (μV) und Latenz (ms) bestimmen. Amplituden können auch über andere Merkmale des Potentialverlaufs bestimmt werden. Eine Baseline-to-Peak Messung wird durch die Bestimmung der Relation zur Baseline durchgeführt. Die Baseline stellt das mittlere elektrische Niveau vor dem Reizeinsatz dar. Oder es wird eine Peak-to-Peak Bestimmung durchgeführt. Hierbei wird die Relation zu anderen Merkmalen eines Potentialverlaufs bestimmt.

Ein anderer Ansatz zur Extraktion von Komponenten ist die Bestimmung von Kovarianzen. Die bekannteste ist die *Principal Components Analysis* (PCA). Mit der PCA wird eine gemeinsame Varianzquelle im Datensatz identifiziert. Mit der PCA wird im Potentialverlauf eine Kovariation über die experimentellen Bedingungen und die Topografie demaskiert.

EKP Komponenten

Entscheidend für die EKP-Forschung ist die Festlegung eines zeitlichen Rahmens in welchem nach den entsprechenden Komponenten gesucht wird. Es werden zwei Komponentengruppen voneinander unterschieden. Als exogene Komponenten werden Potentiale bezeichnet, die mit einer Latenz von weniger als 100 ms auftreten. Diese Komponenten hängen von den

physikalischen Eigenschaften eines Reizes ab und spiegeln die Verarbeitung eines Reizes in den entsprechenden Strukturen wider. Abbildung 17 zeigt ein idealisiertes ereigniskorreliertes Potential.

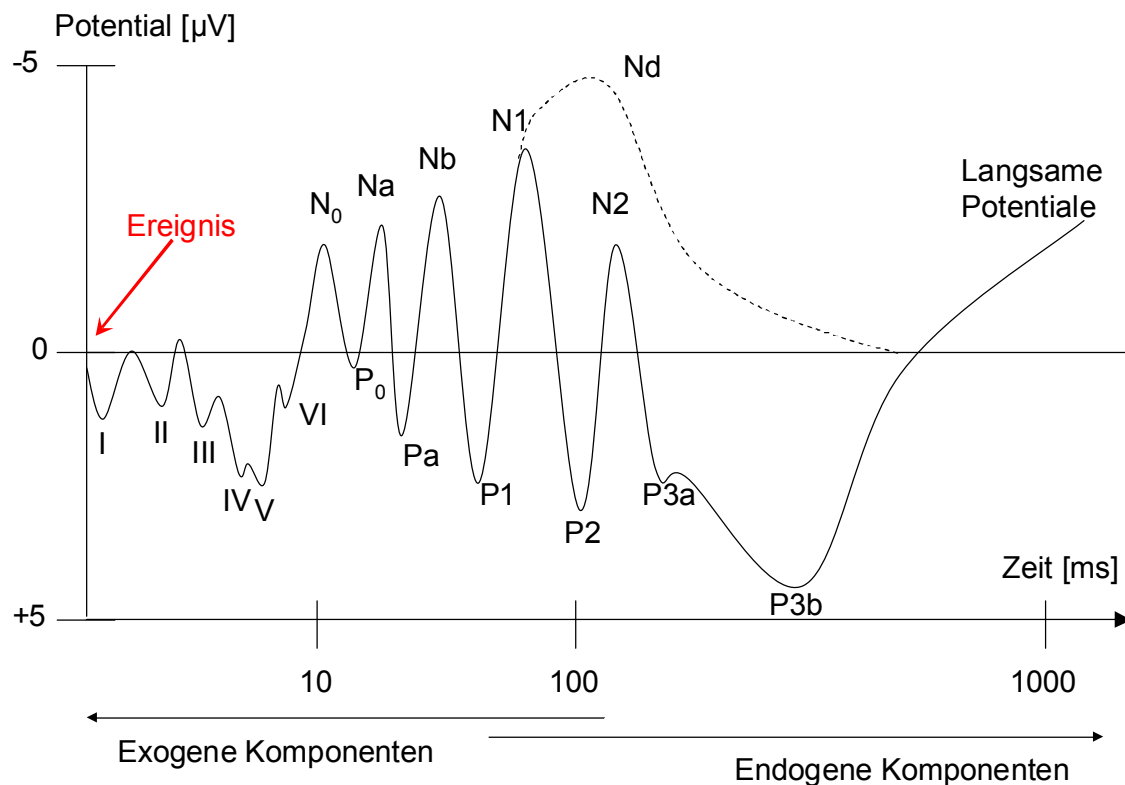


Abbildung 17 Idealisierte Darstellung eines akustischen ereigniskorrelierten Potentials (orientiert an Seifert, 2005). Die X-Achse ist zur besseren Lesbarkeit logarithmisch skaliert. Negative Komponenten werden mit einem N, positive mit einem P gekennzeichnet.

In den ersten 10 Millisekunden sind die Gipfel der Hirnstammpotentiale zu erkennen (I bis VI). Damit soll angedeutet werden, dass sich im EKP mit einigem Aufwand auch evozierte Potentiale tiefer liegender Hirnregionen abbilden lassen (Hegerl, 1998). Nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden die ersten Gipfel (N_0 , P_0 , N_a , P_a , N_b), bieten sie doch keine große Relevanz für die psychologische Forschung. Sie sind ebenso wie die Hirnstammpotentiale nicht durch psychologische Variablen beeinflussbar (Seifert, 2005). Die sich ab 100 ms anschließenden endogenen Komponenten sind von der Modalität und den physikalischen Eigenschaften eines Reizes weitgehend unabhängig, da sie mit höheren Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht werden (Lutzenberger, Elbert, Rockstroh, &

Birbaumer, 1985). Diese Komponenten, die „Vertex-Potentiale“, P1, N1 und P2 sind aus forschungsmethodischer Sicht schon interessanter. Sie lassen sich zwar nicht mit psychologischen Variablen beeinflussen, sind aber durch Aufmerksamkeitsprozesse veränderlich (Seifert, 2005). Besondere Beachtung gilt in vielen Arbeiten die folgenden Komponenten, die aufgabenbezogen im EKP erscheinen: N2, P3a, P3 (P3b) und die *Negative Difference* (Nd) (z.B. Boksem, Meijman, & Lorist, 2005; Zordan, Sarlo, & Stablum, 2008). Im Folgenden soll die, für die anstehenden Untersuchungen psychophysiologischer Maße, entscheidende exogene Komponente P3 näher betrachtet werden.

P3 (P3b oder P300)

Die so genannte P3 (synonym auch P300 oder P3b) ist ein häufig betrachtetes endogenes Potential (z.B. Hill, Ott, & Weisbrod, 2004; Hruby & Marsalek, 2003; Johnson, 1989; O'Donnell, Friedmann, Swearer, & Drachmann, 1992; Polich, 2004, 2007). Sie zeigt sich in den verschiedenen Paradigmen 200 bis 800 Millisekunden nach der Darbietung eines Stimulus und einer mit dem Reiz verbundene kognitive Leistung (Johnson, 1989; Näätänen, 1987; Picton, 1992). Erstmalig wurde dieses Potential von Sutton et al. (1965) beschrieben. Interessant scheint in diesem Zusammenhang die Abhängigkeit der Latenz der P3 Komponente von verschiedenen Modalitäten. So zeigt sich diese Komponente bei Darbietung eines visuellen Reizes ~ 350ms – 450ms nach Onset. Auditorische Reize rufen hingegen eine Latenz von 300ms – 350ms hervor (Polich, 2003).

Noch nicht eindeutig geklärt ist, in welchem Zusammenhang die P3 auftritt. Zwei grundlegende Positionen können dabei vertreten werden: Es ist möglich, dass es sich dabei a) um eine Abschlussreaktion des ablaufenden Prozesses handelt (*cognitive closure*) oder b) um eine Kontextaktualisierung (*context update*).

Nach Donchin (1981) wird ein *context updating* über eine parietale P3 widergespiegelt. Unerwartete oder neuartige Reize, die aber aufgabenrelevant sind, führen nach Donchins Meinung zu einer Aktualisierung des Konzepts. Je tiefgründiger die Aktualisierung des Konzepts ist, umso größer ist die P3 Amplitude. So werden wahrgenommene Reize mit den Inhalten des Arbeitsgedächtnisses verglichen und diese in Abhängigkeit vom wahrgenommenen Reiz aktualisiert.

Das *concept closure* stellt Verleger (1988) dem gegenüber. Er geht davon aus, dass die mit einem P3 erwarteten Ereignisse in repetitiven und hochgradig strukturierten Aufgaben einhergehen. Ein Kontext wird demnach mit einem aufgabenrelevanten Reiz abgeschlossen und löst eine P3 aus. Hegerl (Hegerl, 1998) führt in diesem Zusammenhang aus, dass es sich

bei der P3 Komponente um überwiegend inhibitorische kortikale Prozesse handelt. Dies wird seiner Meinung nach durch die Beobachtung gestützt, dass die Reaktionszeit auf Stimuli, die zeitlich in eine entstehende P3 fallen, verlängert ist. Nach diesem Modell ist die P3 Ausdruck eines Deaktivierungs- oder Inhibierungsprozesses nach einer aufgabenrelevanten Überwachungsfunktion.

Integrativ lässt sich bei einfacher Betrachtung sagen, dass die P3 als ein Ausdruck von Stimulus-Beurteilungsprozessen angesehen werden kann. Die Reaktionszeit auf einen Stimulus ergibt sich daher aus der Summe der Zeit, welche für die Stimulusevaluation und für Antwort-bezogene Prozesse aufgewendet werden muss. Dabei lässt sich festhalten, dass mit zunehmender Stimuluskomplexität oder auch Stimulusunschärfe die Reaktionszeit sowie die Latenz der P3 verlängert werden. Doch steht dieses Modell nur teilweise mit anderen empirischen Daten im Einklang. Bei speziellen Aufgabenstellungen, z.B. bei einfachen Aufgaben, erfolgen die motorischen Reaktionen bereits vor der P3, so dass ein paralleles und nicht ein rein seriell ablaufendes von Stimulusbeurteilungsprozessen und Antwort-bezogenen Prozessen angenommen werden kann. Zudem sind die Korrelationen zwischen P3-Latenz und der Reaktionszeit in den meisten Studien gering (weniger als 25% der gemeinsamer Varianz) (Hegerl, 1998).

Paradigma zum P3

Das Oddball Paradigma ist ein einfaches Paradigma, das zuverlässig zur Provokation einer P3 führt. Erstmals wurde es von Ritter und Vaughan (1969) eingesetzt. Der Name *Oddball*, zu deutsch „Ausreißer“ oder „einer, der nicht dazugehört“, ist hier Programm. Wie oben bereits ausgeführt, werden die deutlichsten P3 mit seltenen oder unerwarteten Stimuli produziert. Im klassischen Zwei-Stimulus- Oddball-Paradigma werden mit unterschiedlicher Häufigkeit zwei Reizklassen präsentiert. Dabei wird eine größere P3-Amplitude von den seltenen Reizen ausgelöst. Je seltener ein Reiz auftritt, umso größer ist die ausgelöste P3-Amplitude (Duncan-Johnson & Donchin, 1977). Ebenso kann in diesem Zusammenhang festgehalten werden, dass häufig dargebotene Reize kürzere Latenzen aufweisen, als selten dargebotene Reize (Duncan-Johnson & Donchin, 1977).

Die P3 im Oddball-Paradigma wurde intensiv mit auditorischem und visuellem Reizmaterial untersucht. Häufig wird das Oddball-Paradigma in Kombination mit einer Aufgabe eingesetzt. Dabei gilt es, entweder durch Zählen oder Tastendruck zum jeweiligen Reiz eine Klassifizierung zu leisten. Nicht immer wird mit dem Oddball-Paradigma eine Aufgabe

verknüpft. Verschiedene Autoren beschreiben, dass eine P3 auch ohne die Bewältigung einer Aufgabe ausgelöst wird (z.B. Lang, Kotchoubey, Lutz, & Birbaumer, 1997). Da die systematische Kombination von Reizen mit einer Aufgabenstellung die Aufmerksamkeit lenkt und die Bedeutung verändert, vertrauen andere Autoren der P3 Provokation durch die zusätzliche Aufgabe (z.B. Sänger, 2007).

Neben dem Oddball-Paradigma bestehen noch andere Paradigmen, die geeignet sind, eine P3 auszulösen. So konnte bei einer Vergleichsaufgabe mit dem Inhalt, zwei Reize miteinander zu vergleichen bzw. in Verbindung zu bringen auf den zweiten Reiz auch eine P3 Komponente ausgelöst werden. So konnte bei dem Vergleich von Gesichtern mit der Entscheidung eine P3 gefunden werden (Campanella, Quinet, Bruyer, Crommelinck, & Guerit, 2002). Ebenso steht die P3-Amplitude mit Prozessen bei Kategorisierungsaufgaben, Vergleich mit Gedächtnisinhalten (Wieder erkennen von Reizen) und Entscheidungsaufgaben in einem Zusammenhang (Trimmel, 1990). Somit wird in der folgenden Untersuchung die kortikale Reaktion beim Vergleich und Zuordnen von spezifischen Wissensbeständen in Fokus der Untersuchung rücken. Zu Einsatz soll die SDA-M kommen.

4 Untersuchung 1: Differentielle Untersuchung mentaler Repräsentationen im Schwimmen

4.1 Einleitung

In der ersten Untersuchung soll der Frage nachgegangen werden, ob sich Unterschiede in der Bewegungsrepräsentation im Langzeitgedächtnis von Experten und Fortgeschrittenen Schwimmern nachweisen lassen. Zahlreiche Untersuchungen in diesem Bereich belegen das große forschungsmethodische Interesse. Grundlegend für diesen Bereich sind die Arbeiten von Schack (z.B. Schack, 1999a; Schack, 1999b, 2001a, 2001b, 2002; Schack & Heinen, 2002; Schack & Mechsner, 2006). So konnten in den verschiedensten Sportarten Unterschiede in der Struktur mentaler Repräsentation ermittelt werden. Heinen (2005) gelang es bspw. Strukturen mentaler Repräsentationen in einen Zusammenhang mit kinematischen Daten bei Turnerinnen und Turnern zu bringen. Des Weiteren wurde eine erste Studie im Bereich Schwimmen von Berthold, Engel und Schack (2004) mit dem Ziel, mentale Strukturen der Repräsentation von Delfinschwimmern zu ermitteln, durchgeführt. Dabei konnte eine funktionale Gliederung der mentalen Struktur von Delfinschwimmen bei Schwimmern gefunden werden. Bei Schwimmanfängern ließ sich solch eine Struktur nicht finden. Auffällig bei der Untersuchung war, dass sich in der Gruppe der Schwimmer weitere Differenzierungen in Subgruppen feststellen ließen. Daran soll die folgende Untersuchung anknüpfen. Mit dem Ziel a) die bei Berthold, Engel und Schack (2004) gefundenen Ergebnisse zu replizieren und b) einen Subgruppenvergleich durchzuführen, der die oben ausgeführte Annahme bestätigt.

Im Schwimmsport bewegt sich der Sportler permanent in einem Gefüge aus Wechselwirkung mit seiner Umwelt und der eigenen Bewegung. Daher erscheint die Koordination und Kopplung der einzelnen Bewegungsparameter gerade im Schwimmsport besonders wichtig. Ist doch das Herstellen einer Verknüpfung von sensomotorischen Prozessen mit dem Erreichen eines Bewegungsziels für den Sportler außerordentlich bedeutsam (Meinel & Schnabel, 1998). Je höher der Expertisegrad eines Schwimmers ist, umso eher wird er sein Ziel erreichen. Und das ist in zweierlei Hinsicht gemeint. Auf der einen Seite ist es ein Ziel im Schwimmsport, die Schwimmtechnik optimal einzusetzen. D.h. der Schwimmer ist bestrebt, in optimaler Weise antriebswirksame Körperteilbewegungen und Bewegungen, die die Voraussetzungen dazu herstellen, miteinander zu verbinden (s.u.). Auf der anderen Seite prägt auch der kompetitive Charakter der Sportart ein wichtiges Ziel. Hier gilt es, zeitminimiert eine fest definierte Strecke in einer zuvor festgelegten Schwimmtechnik zurückzulegen.

Methodisch kommt in der vorliegenden Untersuchung die computerbasierte Methode der SDA-M zum Einsatz (Schack, 2002). Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, mentale (begriffliche) Strukturen inkl. ihrer lernbedingten Veränderungen differentiell zu erfassen. Interindividuelle Unterschiede können anhand eines speziellen Invarianzmaßes exakt bestimmt werden. Aus den Vorarbeiten von Berthold, Engel und Schack (2004) können für die vorliegende Untersuchung folgende Hypothesen aufgestellt werden:

1. Experten und Novizen unterscheiden sich in der Struktur mentaler Bewegungsrepräsentationen beim Delphinschwimmen: Experten weisen strukturiertere Mentale Repräsentationen (MR) auf als Novizen.
2. Je geordneter die Struktur der MR ist, desto besser ist die Bewegungsausführung, d.h. Experten weisen im Gegensatz zu Fortgeschrittenen einen direkten Zusammenhang zwischen der Struktur MR und der Qualität der Bewegungsausführung auf.

4.2 Methode

4.2.1 Versuchspersonen

An der Untersuchung nahmen insgesamt 30 Versuchspersonen (Experten und Novizen) teil. Das Alter der Versuchspersonen (Vpn) lag im Mittel bei 20 (± 5) Jahren.

Die Gruppe der Vpn setzte sich aus Schwimmerinnen und Schwimmern aus dem Raum Köln / Bonn zusammen. Eine Reihe von Schwimmern konnte zur Spitzenklasse im Deutschen Schwimmsport gezählt werden. Alle Sportler trainierten täglich mit einem zeitlichen Aufwand von zwei bis fünf Stunden pro Tag. Während der Sommerferien legten die Sportler in der Regel eine Pause von 4 Wochen ein.

4.2.2 Bewegungsaufgabe

Der besondere Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Untersuchung ist das Delfinschwimmen. Das Delfinschwimmen ist deshalb besonders interessant, weil es sich um eine Schwimmtechnik handelt, die in der Regel nur von ausgebildeten Schwimmern ausgeführt werden kann. Daher sind die Novizen in der vorliegenden Untersuchung streng genommen als Fortgeschrittene zu bezeichnen, da sie bereits über ein bestimmtes Maß an schwimmerischer Expertise verfügen. Die Schwimmtechnik ist des Weiteren eine Art der Fortbewegung im Wasser, die aufgrund ihrer Bewegungskopplung hoch komplex ist. Die

unten aufgeführte Tabelle 3 ist eine Zusammenfassung der Schwimmtechnik, wie sie in Deutschland überwiegend gelehrt wird (Reischle, 2000; Spikermann, 1993; Wilke & Daniel, 1996; Wilke & Madsen, 1997).

Tabelle 3 Die Struktur des Delfinschwimmens. In der Tabelle sind die Aktionen der einzelnen Körperteilbewegungen den jeweiligen Phasen zugeordnet. Es finden sich in der Kopfspalte die Beschreibungsebenen und in den dazugehörigen Zeilen die entsprechenden Aktionen.

| Phänomenologische Struktur | Unterwasserphase | | | | | Überwasserphase |
|----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| | Zugphase | | | Druckphase | | Rückholphase |
| Armbewegung | Eintauchen der Arme | Arme beugen | | Arme strecken | Herausheben der Arme | Arme nach vorn |
| Beinbewegung | 1.Beinschlag | | | | 2.Beinschlag | |
| Atemaktion | Atempause | Ausatmen | | Einatmen | | Atempause |
| Kopfbewegung | | Kopf heben | | Kopf oben | | Kopf senken |
| Handaktion | Eintauchen | Abwärts-auswärts | Einwärts-aufwärts | Auswärts-aufwärts | Herausheben | nach vorn |

Bei den in Tabelle 3 aufgeführten Zusammenhängen handelt es sich um einen Zyklus in der Schwimmtechnik Delfinschwimmen, in dem die Atmung ausgeführt wird.

Bei einem Schwimmzyklus lassen sich verschiedene strukturelle Ebenen unterscheiden. Phänomenologisch ist am deutlichsten die Unterscheidung, mit einer breiten Gültigkeit für fast alle Schwimmtechniken, in Unterwasser- und Überwasserphase möglich. Phasenstrukturell lässt sich eine Zug-, Druck- und Rückholphase unterscheiden. Weiter differenziert lassen sich die Bewegungen der Arme, Beine, Kopf und Hand unterscheiden (vgl. Tabelle 3). Die Bewegung des Rumpfes wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit herausgelassen. Sie wird maßgeblich über die Bewegung des Kopfes gesteuert und hat somit

ihre Repräsentanz über diese Bewegung gefunden. Auf diese Art lässt sich nahezu jedes Detail einer Schwimmtechnik darstellen.

Beim Delfinschwimmen handelt es sich um eine Gleichzugsschwimmtechnik mit einer kopfgesteuerten ständig wechselnden Körperlage (kopfgesteuerte Körperwelle) (z.B. Colwin, 2002; Wilke & Daniel, 1996; Wilke & Madsen, 1997). Die Rückholphase der Arme findet gleichzeitig über Wasser statt. Pro Bewegungszyklus führt der Schwimmer zwei Beinbewegungen aus.

Die Beinbewegung hat ihren Ursprung in einem betonten Bewegungsimpuls im Hüftgelenk, der fortgeleitet zu einer peitschenartigen Abwärtsbewegung der Beine wird. Der erste Beinschlag erfolgt mit dem Eintauchen der Hände ins Wasser. Er gilt gemeinhin als schwächerer Beinschlag, der eine geringere Antriebswirkung hat als die zweite Beinbewegung. Die zweite Beinbewegung erfolgt zum Ende der Unterwasserbewegung der Arme und wird zusätzlich durch die Wellenbewegung des Körpers unterstützt (Wilke & Daniel, 1996). Allerdings muss hier angemerkt werden, dass eine ausgeprägte Körperwelle nur im Anfängerstadium Sinn macht, da die ständig wechselnde Körperlage auch höhere Wasserwiderstände zur Folge hat (Cserépy, Bissig, & Gröbli, 2002). Bewegungsexperten führen zudem noch eine antriebswirksame Aufwärtsbewegung der Beine durch.

Ein entscheidendes Merkmal des Delfinschwimmens ist die optimale Kopplung von Arm- und Beinbewegung über die kopfgesteuerte Körperwelle, in die die Atmung integriert ist. Die Armbewegung gliedert sich in zwei Phasen (Abbildung 22): Unterwasserphase und Überwasserphase. Die Rückholphase ist Bestandteil der Überwasserphase. Sie ist für das Erreichen der optimalen Ausgangsbedingungen für die anschließende Unterwasserphase verantwortlich. Die Hände werden über Wasser in eine optimale Ausgangsposition für das Eintauchen der Hände ins Wasser gebracht. Die Hände tauchen schulterbreit neben der verlängerten Körperlängsachse ein. Mit dem Eintauchen der Hände ins Wasser erfolgt die erste Beinbewegung des Delfinzyklus. Die Beinbewegung leistet einen ersten Geschwindigkeitsanstieg der intrazyklischen Geschwindigkeit (Pfeifer, 1991). Die anschließende Antriebsphase (Unterwasserphase) wird durch eine Abwärts- Auswärts Bewegung der Hand eingeleitet (Beschreibung aus Sicht des Schwimmers). Dabei wird die Hand nach dem schulterbreiten Eintauchen nach unten außen bewegt (vgl. Abbildung 18). Dieser Teil des Schwimmzyklus wird auch Wasserfassen genannt, denn hier wird die für das Schwimmen so wichtige erste sensorische Rückmeldung nach der Überwasserphase über Druckverhältnisse und Umströmungsbedingungen den Hand geleistet (Spikermann, 1993;

Wilke & Daniel, 1996; Wilke & Madsen, 1997). Dieser Teil der Bewegung der Hand in der Unterwasserphase findet sich bei vier Wettkampfschwimmarten (Spikermann, 1993). In Abbildung 18 ist die Abwärts- Auswärts Bewegung der Hand nach dem Eintauchen ins Wasser zu sehen. Diese Bewegung ist im Vergleich zum Kraul- und Rückenkraultschwimmen mit einem wesentlich größeren Auswärtsanteil versehen.

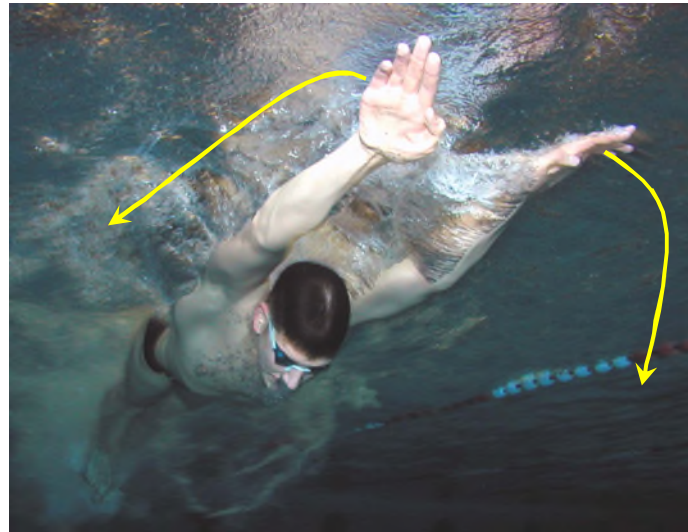


Abbildung 18 Abwärts - Auswärts Bewegung der Hände. Nach dem Eintauchen der Hände werden diese nach unten außen bewegt. Die gelben Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung der Hände an. Im hinteren Teil des Bildes ist noch das aufgewühlte Wasser des mit dem Eintauchen der Hände erfolgten Beinschlags zu sehen.

Der Abwärts-Auswärts Bewegung der Hand folgt eine Einwärts-Aufwärts Bewegung (vgl. Abbildung 19). Aus der so genannten Ellenbogen-vor-Haltung erfolgt über die *catch*-Position (Maglischo, 2003) die Einwärts-Aufwärts Bewegung der Hand (Colwin, 2002; Cserépy et al., 2002; Maglischo, 2003). Die Hand wird dabei nach innen oben bewegt (Schwimmer als Bezugssystem). In dieser Phase der Bewegung wird der Kopf angehoben, wodurch die Hüfte absinkt.

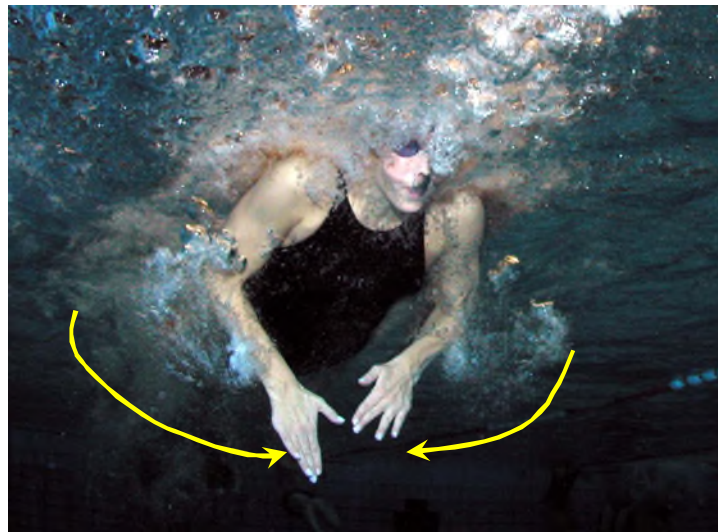


Abbildung 19 Einwärts- Aufwärts Bewegung der Hand. Nach dem Erreichen der Ellenbogen-vor-Haltung werden die Hände nach innen oben bewegt. Die gelben Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung der Hand an. Der Kopf wird während der Einwärts - Aufwärts Bewegung der Hand angehoben.

Mit der Aufwärts-Auswärts Bewegung der Hand wird die Unterwasserbewegung der Hand beendet. Hier treten abschließend die größten Kräfte auf. Die intrazyklische Schwimgeschwindigkeit erreicht ihren höchsten Wert (Maglischo, 2003; Pfeifer, 1991). Während dieser Bewegung der Hand wird der Kopf über die Wasseroberfläche gehoben, so dass die Einatmung erfolgen kann. Durch das Anheben des Kopfes wird die Hüfte weiter abgesenkt. Daraus resultiert eine Schalenlage, aus der die zweite Beinbewegung des Zyklus erfolgt. In Abbildung 20 ist die Aufwärts- Auswärts Bewegung der Hand dargestellt, wie sie oben beschrieben ist.

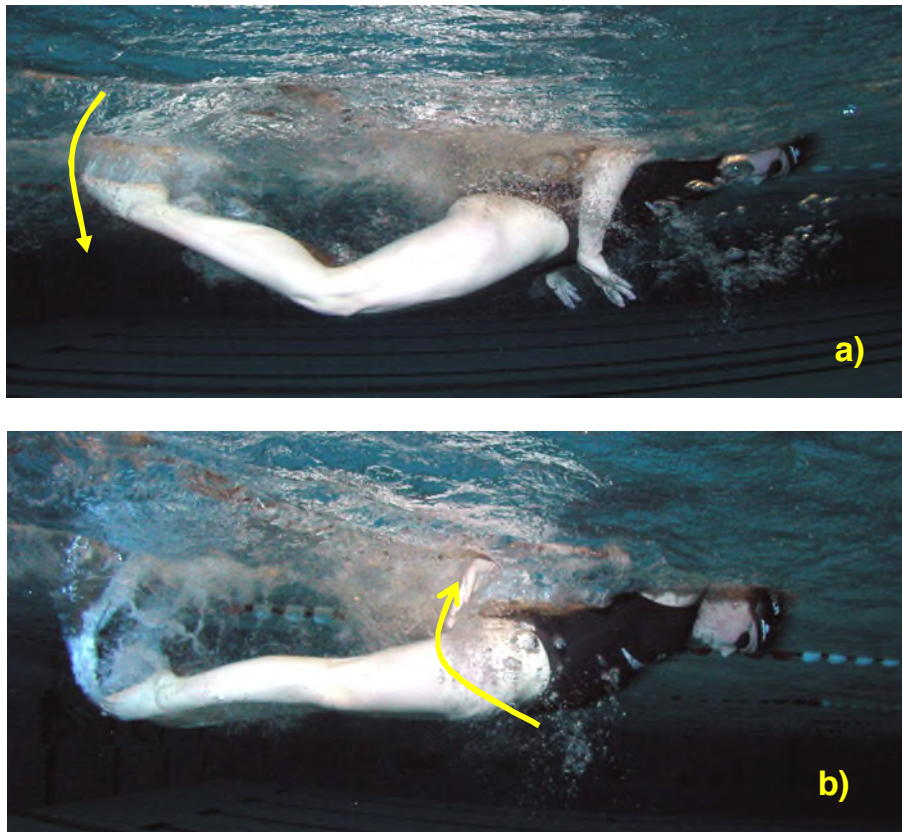


Abbildung 20 Aufwärts-Auswärts Bewegung der Hand. Mit beginnender Aufwärts- Auswärts Bewegung der Hand (a) ist eine günstige Ausgangslage für die Beinbewegung geschaffen. Die Hände verlassen nach ihrer Bewegung durch Wasser neben den Oberschenkeln das Wasser (b). Unterstützend wirkt dabei die zweite Beinbewegung. Die Abbildung zeigt einen Schwimmzyklus, bei dem nicht geatmet wird.

Mit dem Herausnehmen der Hände aus dem Wasser ist die antriebswirksame Unterwasserbewegung beendet. Es schließt sich die Überwasserphase an. Synonym wird auch der Begriff Rückholphase verwendet. In Abbildung 21 ist die Rückholphase beim Delfinschwimmen dargestellt. In der Regel sollten die Arme dabei locker und entspannt in die Ausgangsposition zurück geschwungen werden. Ziel ist es, dabei eine für die unter Wasser erfolgende Antriebsbewegung günstige Position zu erreichen.

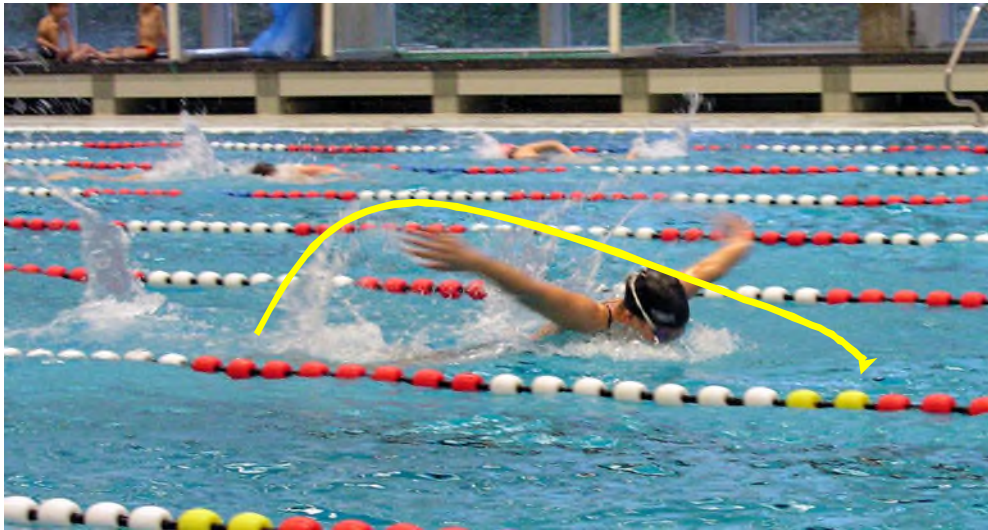


Abbildung 21 Rückholphase des Delfinschwimmens. Die Arme werden locker und entspannt in eine für die Antriebsbewegung optimale Position gebracht.

Die Einteilung des Schwimmzyklus in verschiedene Phasen wird in der einschlägigen Literatur unterschiedlich gestaltet. Häufig finden sich Einteilungen nach der Kraftwirkungsrichtung (Pfeifer, 1991). Dabei werden Zug-, Übergangs- und Druckphase unterschieden. Publikationen neueren Datums hingegen beschreiben eine Phaseneinteilung orientiert an den Bewegungsrichtungen der Hand (Engel, 1996; Maglischo, 2003; Spikermann, 1993). Diese Einteilung der Phasen erscheint erheblich gelungener, nimmt sie doch Rücksicht auf die Bedingungen im Wasser und die zur Vortriebserzeugung nötigen Bewegungen der Hand. Sie schafft eine einheitliche Terminologie, die sich an den tatsächlichen Bewegungen orientiert und wird auch als „absolute“ Perspektive betrachtet (Wirtz, 1996). Unterscheidungen von Bewegungsphasen können so viel deutlicher herausgestellt werden. Aus den oben aufgeführten Gründen soll sich im Weiteren grundlegend an der Bewegungsrichtung der Hand orientiert werden. In Tabelle 3 sind die verschiedenen Beschreibungsebenen zusammengefasst. Abbildung 22 zeigt die Zusammensetzung eines Delfinzyklus. Der Zyklus setzt sich aus der Summe der Körperteilbewegungen zusammen. Armbewegung, kopfgesteuerte Körperwelle und Beinbewegung bilden dabei die Basis der Gesamtbewegung. Orientiert an der Bewegungsrichtung der Hand bzw. des Beines sind in Abbildung 22 die jeweiligen Phasen zugeordnet. Bewegungsexperten aus dem Leistungssport modifizieren die Bewegung. Die kopfgesteuerte Körperwelle wird ökonomisiert. D.h. sie tritt nur noch minimal auf und die

Beinbewegung ist durch eine aktive Abwärts- und Aufwärtsbewegung der Hüfte geprägt (Cserépy et al., 2002).

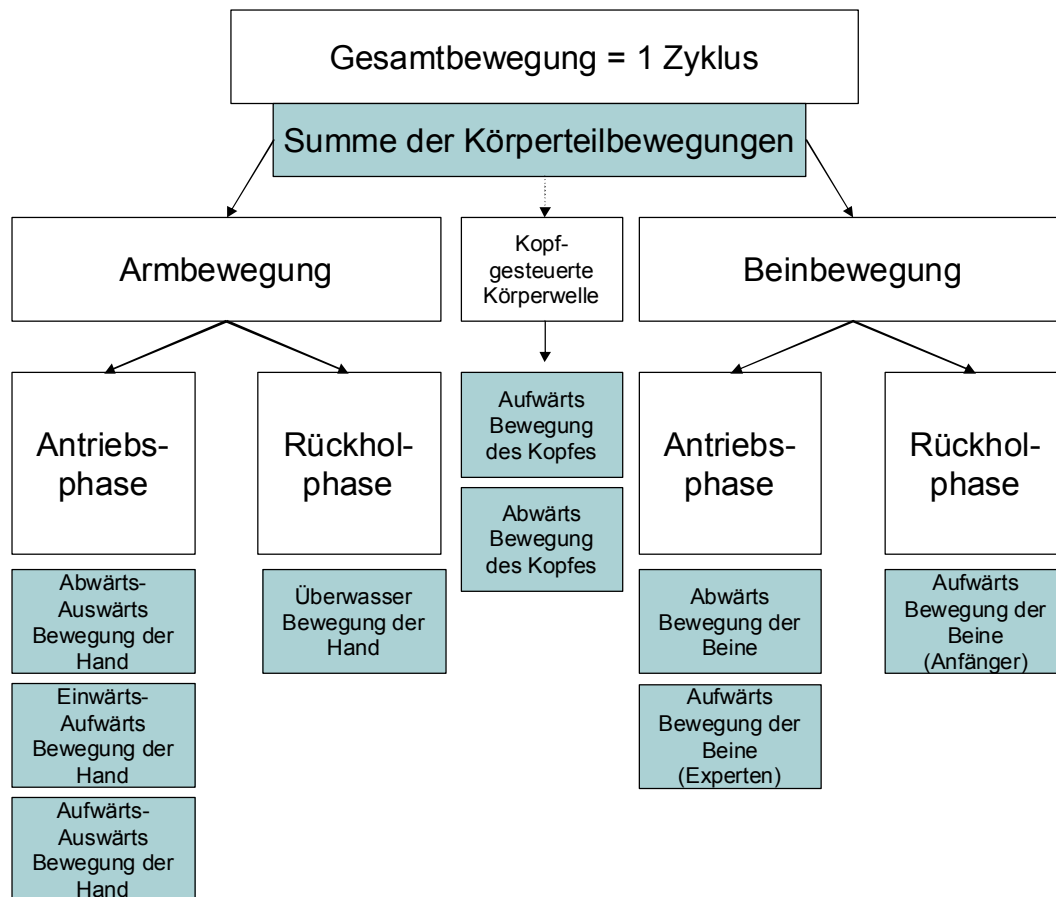


Abbildung 22 Die Phasenstruktur des Delfinschwimmens (orientiert an Spikermann, 1993).

Im folgenden Schritt war es notwendig, die Zyklusstruktur des Delphinschwimmens mit Hilfe von Experten hinsichtlich ihrer *BACs* differenziert aufzulösen. Die für die Bewegung relevanten *BAC* wurden in einen mehrstufigen Prozess generiert. Nach Sichtung von umfangreichen Bild-, Videomaterial sowie Tabelle 3 und Abbildung 22 konnten wichtige *BACs* der Delfinbewegung herausdifferenziert werden, mit denen die Bewegung bis ins Detail rekonstruierbar wurde. Zusätzlich wurden *BACs* aus Befragungen und Interviews mit Schwimmern und Trainern gewonnen. Dieser umfangreiche Pool von Knotenpunkten wurde in einer Expertenrunde nochmals gesichtet und diskutiert. Die Expertenrunde bestand aus erfahrenen Trainern und Schwimmdozenten der Deutschen Sporthochschule Köln ($n = 10$). In einem anschließenden Rating-Verfahren mit den Experten konnten 13 Knotenpunkte

herausgestellt werden (vgl. Tabelle 4). Eine Überprüfung der Eindeutigkeit an zufällig ausgewählten Schwimmerinnen und Schwimmern (n = 20) des Schwimmbezirks Mittelrhein bestätigte das Ergebnis. Hier zeigte sich, dass die Schwimmer den untersuchten Knotenpunkten Bewegungen zuordnen konnten.

Tabelle 4 Aus den Bewegungen des Delfinschwimmens gelang es mit Hilfe eines Experten-Ratings 13 BACs auszudifferenzieren.

| | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| (1) <i>Arme nach vorn</i> | (2) <i>Hände tauchen ein</i> |
| (3) <i>schwacher Beinschlag</i> | (4) <i>Kopfheben</i> |
| (5) <i>Hände nach außen unten</i> | (6) <i>Arme beugen</i> |
| (7) <i>Hände nach innen oben</i> | (8) <i>Arme strecken</i> |
| (9) <i>Hände nach außen oben</i> | (10) <i>Einatmen</i> |
| (11) <i>starker Beinschlag</i> | (12) <i>Hände verlassen Wasser</i> |
| (13) <i>Kopf senken</i> | |

Die 13 oben genannten Knoten wurden als Basis für die SDA-M festgelegt und in die computergestützte Variante implementiert (vgl. Abbildung 23). Gleichmaßen wie die Knotenpunkte wurde auch eine Referenzstruktur im Expertenrating extrahiert. Dabei wurden die in Tabelle 4 dargestellten Knotenpunkte des Delfinschwimmens zugrunde gelegt.

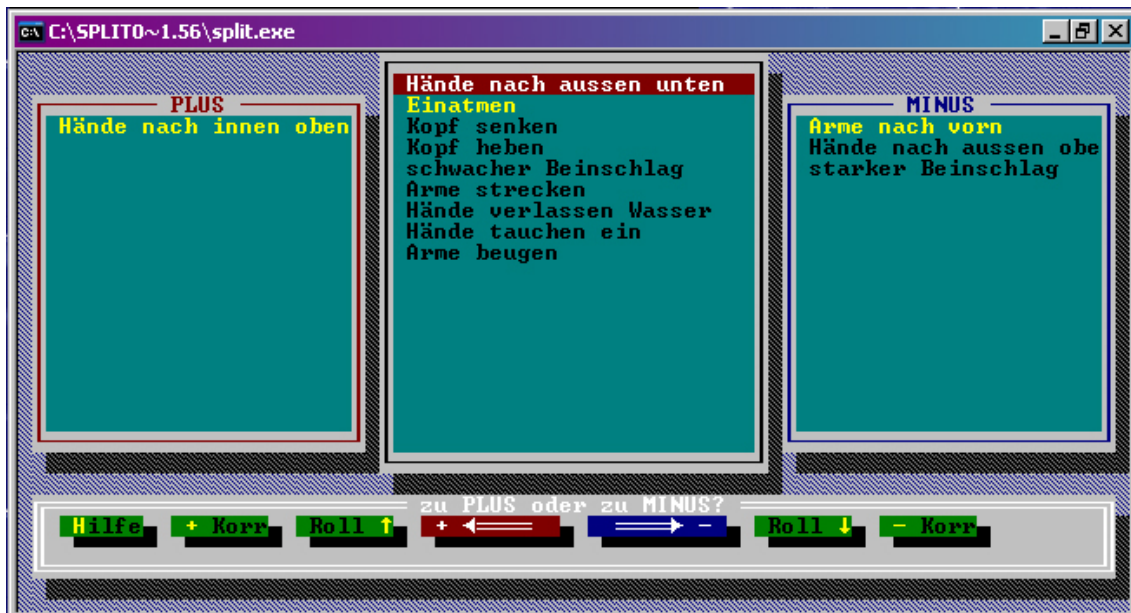


Abbildung 23 Bildschirmfoto der computergestützten SDA-M. In Referenzstellung ist der Bewegungsknoten „Hände nach aussen unten“ zu erkennen. Links stehen die bereits zugeordneten Knotenpunkte und rechts die bereits weggeordneten Knotenpunkte. Der Knotenpunkt „Einatmen“ wird als nächster zu- oder weggeordnet.

Die Einschätzung der Bewegungsqualität der Vpn erfolgte durch ein Rating von Trainern und Dozenten der Deutschen Sporthochschule Köln. Dazu wurden Videoaufzeichnungen der Vpn nach verschiedenen qualitätsstiftenden Merkmalen bewertet. Diese Merkmale der Bewegungsqualität waren Bewegungsfluss, Bewegungspräzision, Bewegungsumfang, Bewegungstempo und Bewegungskopplung. Der Bewertung lag eine Skala von 1 (sehr schlecht) bis 10 (sehr gut) zugrunde. Bei fünf Kriterien konnte ein maximaler Score von 50 Punkten und ein minimaler Score von 5 Punkten erreicht werden. Die Gruppe der bewertenden Experten wies eine Ratingübereinstimmung von $r_{ICC} = .75, p < .05$, auf, berechnet nach dem Intraklassenkorrelationskoeffizienten.

4.2.3 Instrumentarien

- Interview
- computergestützte Variante der SDA-M (*Split 1.0*)

- vier Notebooks Pentium III™
- Basic-Action-Concepts als verbale Liste und zugeordnete Bildfolge
- DV-Videokamera

4.2.4 *Versuchsablauf*

Die Untersuchung der Schwimmerinnen und Schwimmer fand im Sommer 2004 statt. Die Untersuchungszeit lag jeweils in den ersten 30 Minuten der regulären Trainingszeit der Athleten. Die Trainingszeiten, in denen die Daten erhoben wurden, waren mittwochs um 15:30 und freitags um 16:30. Die Untersuchungsgruppe bestand aus Schwimmerinnen und Schwimmern aus dem Raum Köln/ Bonn. Nach der Begrüßung der Sportlerinnen und Sportler wurde das Ziel der Untersuchung mit den Anwesenden geklärt. Vor jeder einzelnen Untersuchung wurde mit jedem Probanden ein Einzelgespräch zur Delfintechnik geführt, in dem die Begrifflichkeiten und Vorgehensweise geklärt wurden. In diesem Vorgespräch konnte das Experteniveau abgeschätzt und die individuellen *Basic-Action-Concepts* mit den Wortmarken der SDA-M abgeglichen werden. Zur Unterstützung kamen dabei Bildfolgen zum Einsatz, die die Wortmarken unterstützen sollten (vgl. Abbildung 18, Abbildung 19, Abbildung 20, Abbildung 21).

Nach dem Vorgespräch gaben die Vpn ihre Einverständniserklärung zur Untersuchung ab. Die Untersuchung fand bewusst in einem entspannten ruhigen Rahmen an der jeweiligen Trainingsstätte (in der Schwimmhalle) statt. Somit war den Vpn die Möglichkeit gegeben, sich in gewohnter Umgebung auf die ihnen gestellte Aufgabe zu konzentrieren (vgl. Abbildung 24).

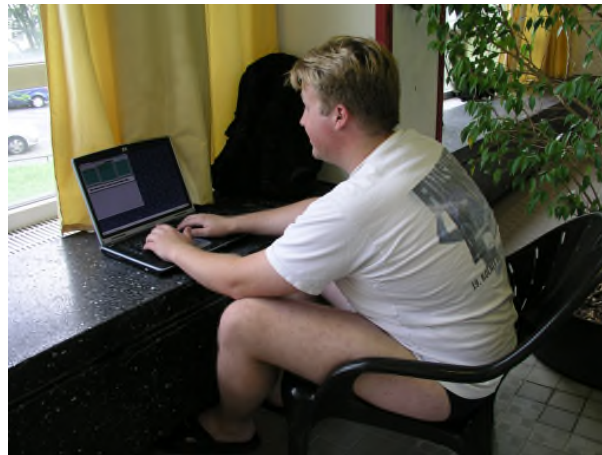


Abbildung 24 Versuchsperson (Schwimmexperte) bei der Durchführung der computergestützten SDA-M. Die Untersuchungen wurden jeweils an der Trainingsstätte durchgeführt und fanden in einer lockeren Atmosphäre statt. Die Vp sitzt bequem vor dem Laptop und führt die SDA-M durch. Im Anschluss wurden die Ergebnisse mit der Vp besprochen und analysiert.

Als nächster Schritt erfolgte die Einweisung in die Software *Split 1.0*. Die Bedienung des Computers (Notebook, Pentium III) und der Software bereitete den Vpn keine Probleme. Zur Untersuchung standen insgesamt vier Notebooks zu Verfügung. Die Verwendung der Notebooks bereitet im Versuchsablauf in der Schwimmhalle keine Probleme, da sie variabel und flexibel einzusetzen waren. Während der Durchführung der SDA-M hatten die Vpn folgender Instruktion zu folgen:

„Gehört der gelb unterlegte Knotenpunkt und der rot unterlegte aktuelle Ankerbegriff für die Ausführung des Delfinschwimmens zusammen: Ja oder Nein? Gehören für Dich die beiden Begriffe im Sinne der Bewegungsausführung zusammen, dann ordne sie dem Anker zu! Gehören für Dich beide Begriffe im Sinne der Bewegungsausführung nicht zusammen, dann voneinander weg sortieren!“

Ein ergänzendes Gespräch am Ende der Untersuchung mit der Präsentation der sich aus der Zuordnung ergebenden Dendrogramme zeigt den Probanden das Ergebnis ihrer Untersuchung. Im Mittel benötigten die Probanden 25 Minuten (± 7 min) für die Zuordnung der Begriffe.

Anschließend wurden Videoaufnahmen angefertigt, die im weiteren Verlauf der Untersuchung einem Expertenteam zur Einordnung des Experteniveaus der Schwimmer dienten.

4.3 Ergebnisdarstellung und Diskussion

Für die Ergebnisdarstellung der ersten Untersuchung mentaler Repräsentationen im Schwimmsport scheint es im Rahmen dieser Arbeit als angebracht, direkt mit dem Vergleich der beiden Subgruppen Experten und Fortgeschrittenen zu beginnen. Eine zuvor im Expertenrating gebildete Referenzstruktur bildet dabei das Maß, über das die Struktur der mentalen Repräsentation der Untersuchungsgruppen verglichen werden soll. Im Folgenden soll daher die Clusterlösungen der Subgruppen mit der Referenzstruktur verglichen werden. Zur Bildung der Cluster wurde eine Fusionsdistanz d_{krit} von 3.43 festgelegt ($\alpha = 5\%$).

4.3.1 Vergleich zwischen Experten, Novizen und der Referenzstruktur

Abbildung 25 zeigt die Referenzstruktur, die aus einem Expertenrating mit Dozenten der Deutschen Sporthochschule Köln und Trainerinnen und Trainern ($n = 10$) aus dem Kölner Umland hervorging. Die Darstellung erfolgt als Ergebnis einer Clusteranalyse in Form eines Dendrogramms.

Wie in Abbildung 25 ersichtlich, ergibt die Clusteranalyse zwei Cluster und ein Single. Damit lässt sich eine charakteristische Phasenstruktur, wie in Tabelle 3 biomechanisch hergeleitet, herstellen. Für die Zugphase werden die BAC „*Arme beugen; Hände nach aussen unten; Kopf heben; schwacher Beinschlag; Hände nach innen oben; Hände tauchen ein*“ zugeordnet. Die BACs „*Einatmen; starker Beinschlag; Hände verlassen Wasser; Hände nach aussen oben; Arme strecken; Kopf senken*“ werden der Druckphase zugeordnet. Die Rückholphase wird durch das allein stehende BAC „*Arme nach vorn*“ repräsentiert. Durch besonders niedrige Fusionsdistanzen fallen die BACs „*Einatmen*“ und „*Hände verlassen Wasser*“ auf.

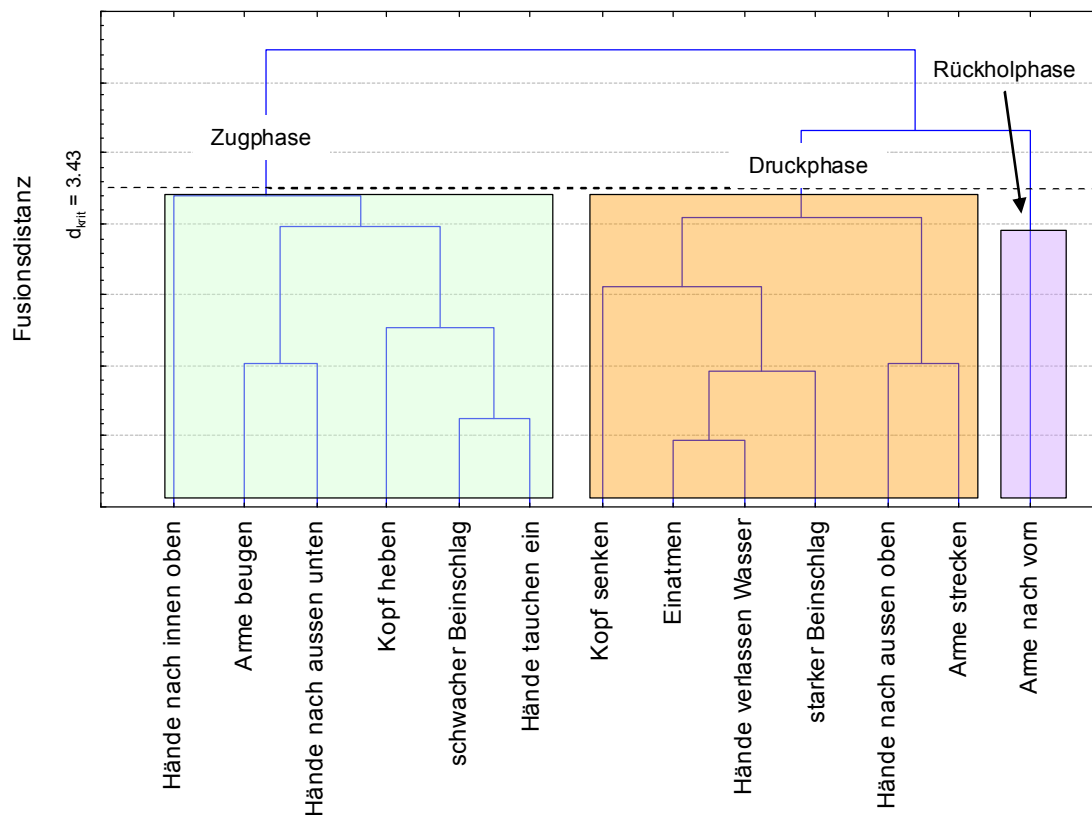


Abbildung 25 Referenzstruktur des Delfinschwimmens, die aus einem Expertenrating mit Dozenten der Deutschen Sporthochschule Köln und Trainerinnen und Trainern aus dem Kölner Umland hervorging. Es lässt sich eine Phaseneinteilung nach der Kraftwirkungsrichtung (Zug/ Druck (Pfeifer)) herstellen. Die Rückholphase wird durch das allein stehende BAC „Arme nach vorn“ repräsentiert.

In Abbildung 26 ist das Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse der Gruppe der Experten ($n = 15$) zu sehen. Um die entsprechenden Hauptphasen des Delfinschwimmens zu identifizieren, wird die Referenzstruktur (vgl. Abbildung 25) herangezogen. So findet sich die Referenzstruktur bezüglich der Phasenstruktur (Zug-, Druck- und Rückholphase) auch in der Struktur der Experten wieder. Damit zeigt die ermittelte Struktur der Expertengruppe eine erstaunliche Nähe zur Referenzstruktur. Lediglich die Bewegung des Kopfes ist unterschiedlich angeordnet. So bildet das BAC „Kopf heben“ ein Single und „Kopf senken“ ist der Zugphase zugeordnet. Die Bewegung des Kopfes ist strukturell nicht gebunden und bildet sich daher different zur Referenzstruktur ab. So wird die Aufwärtsbewegung des Kopfes von der Gruppe der Experten verschiedenen BACs zugeordnet. Interessant erscheinen hier die BAC „Einatmung“ und „starker Beinschlag“, die mit einer niedrigen Fusionsdistanz

einander zugeordnet sind. Die niedrige Fusionsdistanz deutet damit für den Zeitpunkt der Atmung auf eine stabile Bewegungsrepräsentation über die Gruppe der Experten hin.

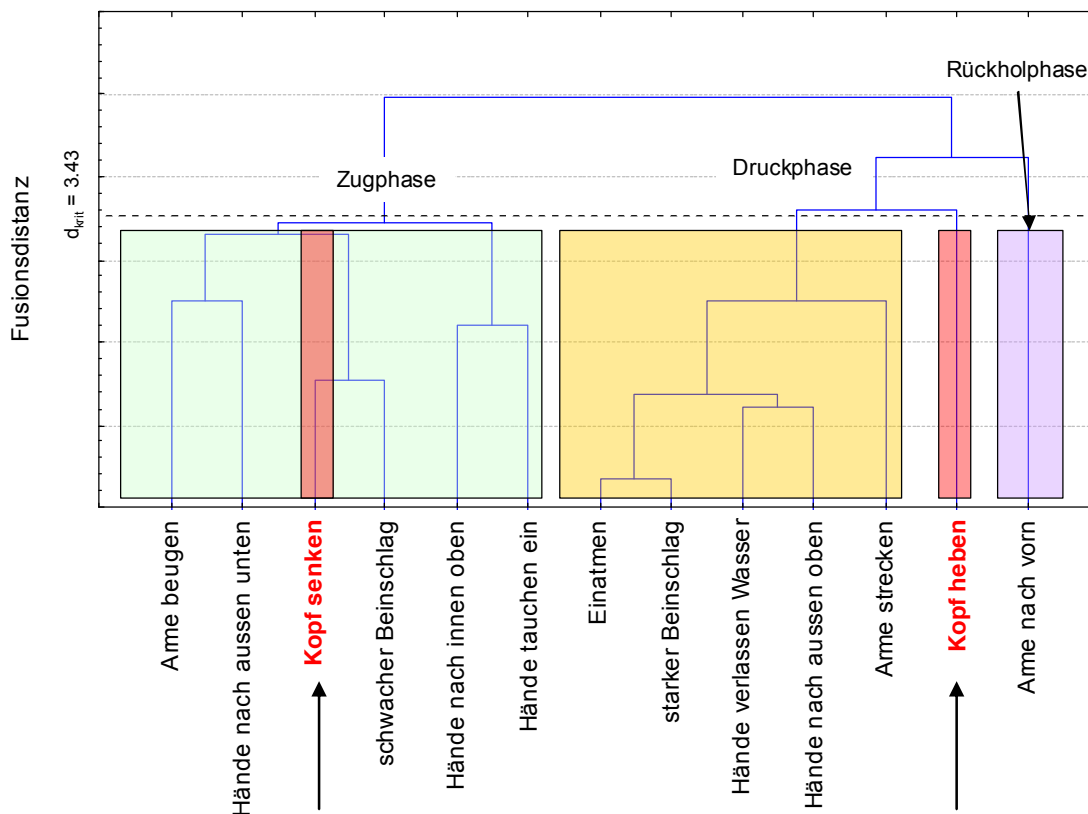


Abbildung 26 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse über die BACs des Delfinschwimmens bei $N = 15$ Experten ($d_{krit} = 3.43$; durch die gestrichelte Linie dargestellt). Die unklare Zuordnung der BAC der Kopfbewegung sind rot und mit einem Pfeil von unten markiert.

Die Clusterlösung der Fortgeschrittenen wird in Abbildung 27 dargestellt. Sie ist das Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse über die BACs des Delfinschwimmens. Charakteristisch für diese Clusterlösung ist die Bildung von vier Clustern und einem Single. Die Struktur bildenden Knotenpunkte liegen der kritischen Distanz ($d_{krit} = 3.43$) sehr nah. D.h. die Elemente sind eher schwach miteinander verbunden. Ein Grund dafür kann darin liegen, dass die individuellen kognitiven Strukturen zu schwach sind. Additiv dazu kann aufgeführt werden, dass die Möglichkeit besteht, dass die Clusterlösungen zu unterschiedlich sind, um im Mittel eine einheitliche Struktur abbilden zu können. Über die Gruppe der Fortgeschrittenen bildet sich eine sehr uneinheitliche mentale Repräsentation des Delfinschwimmens ab. Die

hohen Fusionsdistanzen belegen eine wenig stabile Bewegungsvorstellung über die Gruppe der Fortgeschrittenen.

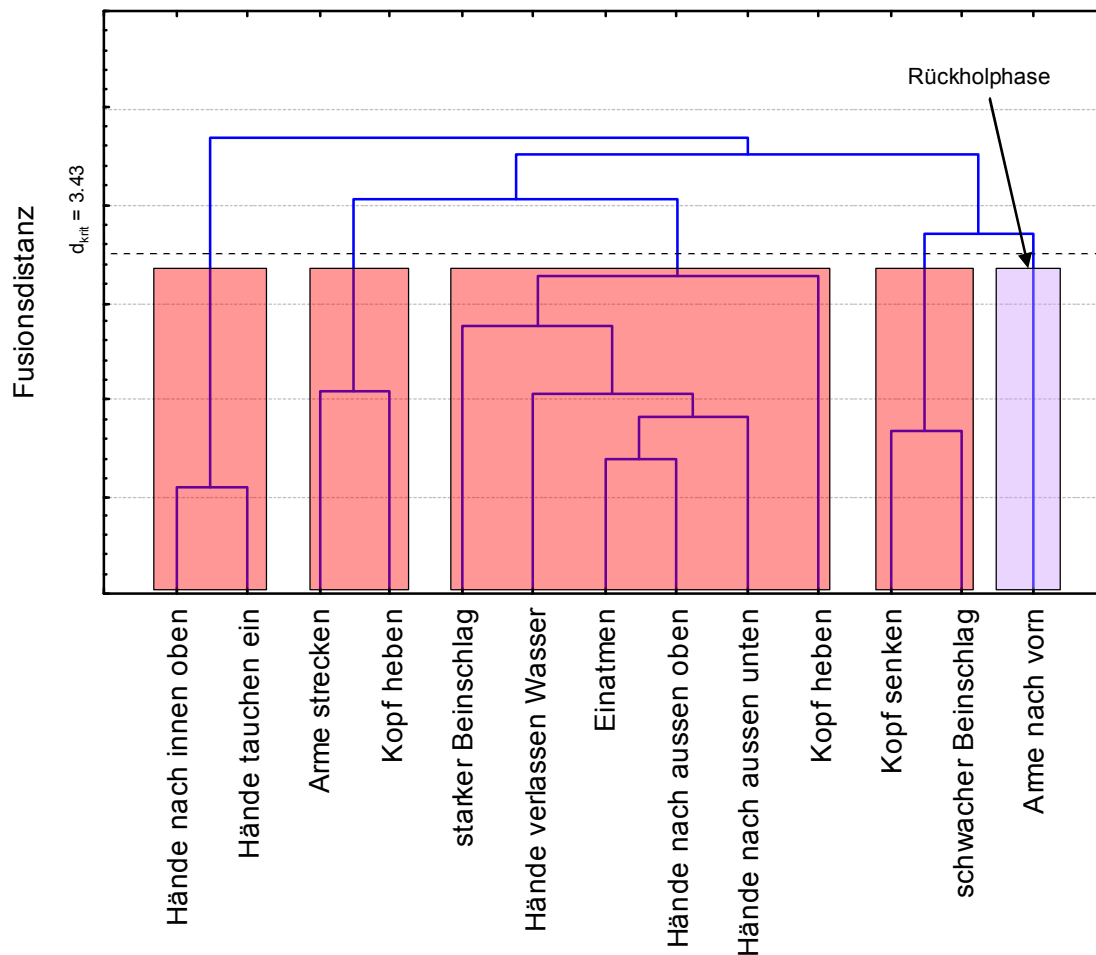


Abbildung 27 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse über die BAC des Delfinschwimmens bei Fortgeschrittenen ($N = 15$). Die an der Referenzstruktur orientierte Phaseinteilung tritt nicht auf. Es werden aber funktional wichtige Cluster gebildet (nähere Erläuterungen siehe Text).

Im folgenden Schritt werden die Ergebnisse der Invarianzanalyse zwischen den mentalen Strukturen der Datensätze der Fortgeschrittenen, der Experten und der Referenzstruktur betrachtet (vgl. Tabelle 5). Die Invarianzanalyse wurde durchgeführt, um die Unterschiede der Gruppen untereinander und zur Referenzstruktur zu ermitteln. Ein Invarianzwert von 1.00 spricht für zwei identische Clusterlösungen. Ab einem Wert von $\lambda_{krit} = .68$ sind zwei Clusterlösungen als ähnlich zu betrachten (Lander & Huth, 1999). Wie in Tabelle 5 dargestellt, ergibt sich für den Vergleich zwischen der Referenzstruktur und den Experten ein

Invarianzwert von $\lambda = .71$. Im Vergleich zwischen den Fortgeschrittenen und der Referenzstruktur ein Invarianzwert von $\lambda = .53$. Ein Vergleich zwischen Fortgeschrittenen und Experten ergibt einen Invarianzwert von $\lambda = .64$.

Tabelle 5 Ergebnisse der Invarianzanalyse zwischen den mentalen Strukturen der Fortgeschrittenen, der Experten und der Referenzstruktur. Ein Invarianzwert von 1.00 spricht für zwei identische Clusterlösungen. Ab einem Wert von $\lambda_{krit} = .68$ sind zwei Clusterlösungen als ähnlich zu betrachten.

| | Experten | Referenz |
|------------------|----------|----------|
| Fortgeschrittene | .64 | .53 |
| Experten | - | .71 |

Anhand der mit Hilfe der SDA-M gewonnenen empirischen Daten zeigt sich eine recht deutliche Unterscheidung bei der Einteilung der verschiedenen funktional gegliederten Phasen beim Schwimmzyklus zwischen dem Expertiseniveau von Experten und Fortgeschrittenen. Die Referenzstruktur (Zugphase / Druckphase / Rückholphase), die biomechanisch abgeleitet wurde, konnte bei den Fortgeschrittenen nur bedingt wieder gefunden werden. Hier tauchte die Referenzstruktur nur in Verbindung mit anderen *Basic-Action-Concepts* auf, die in der Referenzstruktur anderen Phasen zugeordnet wurden. Die Phasen sind nicht deutlich voneinander separiert.

Dagegen spiegelte sich die Referenzstruktur in der Struktur der mentalen Repräsentation der Experten ($\lambda = .71$). Im Dendrogramm zeigt sich deutlich die oben beschriebene Phasenstruktur des Delfinschwimmens. Der Zugphase werden die *BAC* „Arme beugen; Hände nach aussen unten; Kopf senken; schwacher Beinschlag; Hände nach innen oben; Hände tauchen ein“ zugeordnet. Das *BACs* „Kopf senken“ scheint dabei nicht korrekt zugeordnet zu sein. Allerdings steht dieses Konzept mit dem *BAC* „Hände tauchen ein“ in enger Verbindung. Viele Schwimmer führen tatsächlich beim Eintauchen der Hände ins Wasser noch eine deutliche Abwärtsbewegung des Kopfes durch (Cserépy et al., 2002). Ebenso bildet in diesem Zusammenhang das *BAC* „Kopf heben“ ein so genanntes *Single*. Hier spiegeln sich die Eingangs der Untersuchung angesprochenen Unterschiede der Delfintechnik. Eine deutliche Kopfbewegung soll dabei mit steigenden Expertisegrad vermieden werden. Dabei

ist jedoch zu beachten, dass die Bewegung des Kopfes auch mit der speziellen Technik für die entsprechende Streckenlänge in Verbindung steht. Je kürzer die geschwommene Schwimmstrecke ist, umso höher ist in der Regel die geschwommene Schwimmgeschwindigkeit. In diesem Fall ist die Vermeidung von Zusatzbewegungen wichtig, da mit zunehmender Schwimmgeschwindigkeit der Wasserwiderstand proportional steigt (Klauck, 1982). Daher kann an dieser Stelle festgestellt werden, dass die Vermeidung der Kopfbewegung nicht nur ein Merkmal der Expertise ist, sondern kann auch ein Schwimmstreckenlängen spezifischen Merkmal sein. Der Nutzen und der Nachteil durch die Kopfbewegung kann an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden. So lässt sich aus den Ergebnissen der hierarchischen Clusteranalyse bezüglich der Kopfbewegung aussagen, dass diese bei Experten nicht eindeutig zu den Bewegungsphasen zugeordnet wird. Sie ist möglicherweise ein individuelles Stilmittel bei Schwimmern mit hohem Expertisegrad.

Ein weiterer Cluster, der von den Experten gebildet wird, ist die so genannte Druckphase. Diesem Cluster werden die *BAC* „*Einatmung; starker Beinschlag; Hände verlassen Wasser; Hände nach aussen oben; Arme strecken*“ zugeordnet. Das *BAC* „*Arme nach vorn*“ bildet das erwartete *Single* für die Rückholphase. So spiegeln die Ergebnisse der SDA-M für die Experten ein nicht ganz erwartetes Ergebnis wieder, welches sich nur bei der Zuordnung der Kopfbewegung von der zuvor ermittelten Referenzstruktur unterscheidet. Deutlich ist aber aus der Struktur der Experten herauszulesen, dass die Struktur der mentalen Repräsentation Rhythmusstiftende Verbindungen zwischen *BACs* enthält. Der Cluster um den „*starken Beinschlag*“ bietet dafür ein besonders gutes Beispiel. Gerade an dieser Stelle der Schwimmbewegung muss die Bewegungsausführung exakt sein, um die anschließende antriebslose Phase (Rückholphase) zu überbrücken. Das anschließende Eintauchen der Hände mit dem schwachen Beinschlag bildet den anderen Eckpunkt des Delfinrhythmus. So kommt der typische Delfinrhythmus zustande, bei dem die intrazyklischen Pausen zwischen den Aktionen der Beinbewegung unterschiedlich sind (zwischen dem schwachen und starken Beinschlag besteht eine längere intrazyklische Pause als zwischen dem starken und schwachen Beinschlag).

Die Ergebnisse hierarchischen Clusteranalyse der Fortgeschrittenen sehen auf den ersten Blick sehr uneinheitlich aus (vgl. Abbildung 27). Allerdings bilden sich auch hier Strukturen ab, die funktional zum Delfinschwimmen führen. So wird wie in der Referenzstruktur und in der Struktur der Experten ein *Single* für die Rückholphase gebildet (*BAC* „*Arme nach vorn*“).

Bei den Fortgeschrittenen bilden sich weitere Cluster heraus, die mehr oder weniger eine starke funktionelle Bedeutung haben. Ein Cluster ist dabei das Strecken der Arme und das Heben des Kopfes. Ein weiterer Cluster wird durch die BAC „Kopf senken“ und „schwacher Beinschlag“ präsentiert. Beide Cluster stehen in einem engen funktionalen Zusammenhang mit der Bewegung des Delfinschwimmens. Zwei weitere Cluster, die gebildet werden, stehen nur ansatzweise in einem funktionalen Zusammenhang mit der Zielbewegung. Die Ergebnisse der untersuchten Fortgeschrittenen zeigen deutlich, dass sie sich noch in der Entwicklung der Bewegungsvorstellung befinden.

Die Clusterlösungen der Fortgeschrittenen und der Experten unterscheiden sich voneinander. Die Ergebnisse der Invarianzanalyse zwischen Experten und Fortgeschrittenen bestätigen dieses ($\lambda = .64$). D.h. es ist anzunehmen, dass noch eine weitere Ordnungsbildung der mentalen Struktur der Fortgeschrittenen stattfindet. Diese Ordnungsbildung bezieht sowohl auf die Kopplung der einzelnen Bewegungen als auch auf die Verbindung der BACs zu Rhythmusstiftenden Elementen.

Mit Blick auf die ermittelten Ergebnisse lassen sich mehrere Begründungslagen für eine wenig geordnete mentale Repräsentationsstruktur der Fortgeschrittenen finden: Aufgrund seiner Komplexität in der Bewegungsausführung und der hohen Anforderungen im technisch koordinativen Bereich ist das Delfinschwimmen die letzte der vier Wettkampfschwimmtechniken, die in der mehrjährig dauernden Ausbildung der Schwimmsportler gelehrt wird (Wilke & Daniel, 1996). Daher ist es in der untersuchten Gruppe durchaus möglich, dass der Lernprozess bei der Subgruppe der Fortgeschrittenen nicht abgeschlossen ist und eine strukturelle Ordnung der mentalen Repräsentation noch stattfindet. Besonders schwer erscheint in diesem Zusammenhang der Erwerb einer geeigneten Raum-Zeitstruktur (Reischle, 2000).

Das Delfinschwimmen gehört zu den anspruchvolleren Schwimmtechniken. Daher besteht durchaus auch die Möglichkeit, dass sich aufgrund der geringen Wiederholung der Schwimmtechnik im Training noch keine geordnete mentale Struktur herausbilden konnte. Letztendlich besteht auch die Möglichkeit, dass sich in der fehlerhaften Struktur der mentalen Repräsentation der Fortgeschrittenen auch die fehlerhafte Bewegungsvorstellung des Trainers widerspiegelt. Hinweise dazu finden sich bei Heinen (2005).

Eine Betrachtung von zwei Probanden aus den jeweiligen Gruppen soll einen weiteren Einblick in die Strukturen mentaler Repräsentationen des Delfinschwimmen geben und die oben gefundenen Ergebnisse stützen.

4.3.2 Individuelle Clusterlösungen und ihr Bezug zur Bewegungsausführung

Für einen Vergleich der individuellen Clusterlösungen wurden anhand von Videoaufnahmen ein Schwimmer mit der schlechtesten und ein Schwimmer mit der besten Bewegungsausführung per Expertenrating gewählt. Die Auswahl der Schwimmer geschah nach einem standardisierten Verfahren. Zunächst wurde die Bewegungsausführung der Schwimmer über eine Distanz von 25m betrachtet. Vier Trainer (n = 4) bewerteten unabhängig voneinander die Bewegungsausführung des Schwimmers in einem Ranking von eins bis fünf. Bei den im Folgenden dargestellten Schwimmern herrschte Einigkeit über die zuvor ausgewählten Kriterien.

In Abbildung 28 ist ein individuelles Ergebnis einer Clusteranalyse eines Fortgeschrittenen dargestellt. Charakteristisch für diese Clusterlösung ist, dass zwei Cluster und drei Singles gebildet werden. Ein Single bildet das *BAC* „*Arme nach vorn*“. Die anderen Singles sind „*Kopf heben*“ und „*schwacher Beinschlag*“. Die Cluster, die sich unterhalb des Distanz kritischen Wertes bilden sind: a) „*Arme strecken, Kopf senken, Arme beugen, starker Beinschlag, Hände nach aussen oben, Hände nach innen oben, Hände nach aussen unten*“ und b) „*Hände verlassen Wasser, Einatmen, Hände tauchen ein*“. Wie bereits in der Gesamtbetrachtung der Gruppe der Fortgeschrittenen festgestellt wurde, bildet sich auch hier eine wenig funktionale Struktur der mentalen Repräsentation ab.

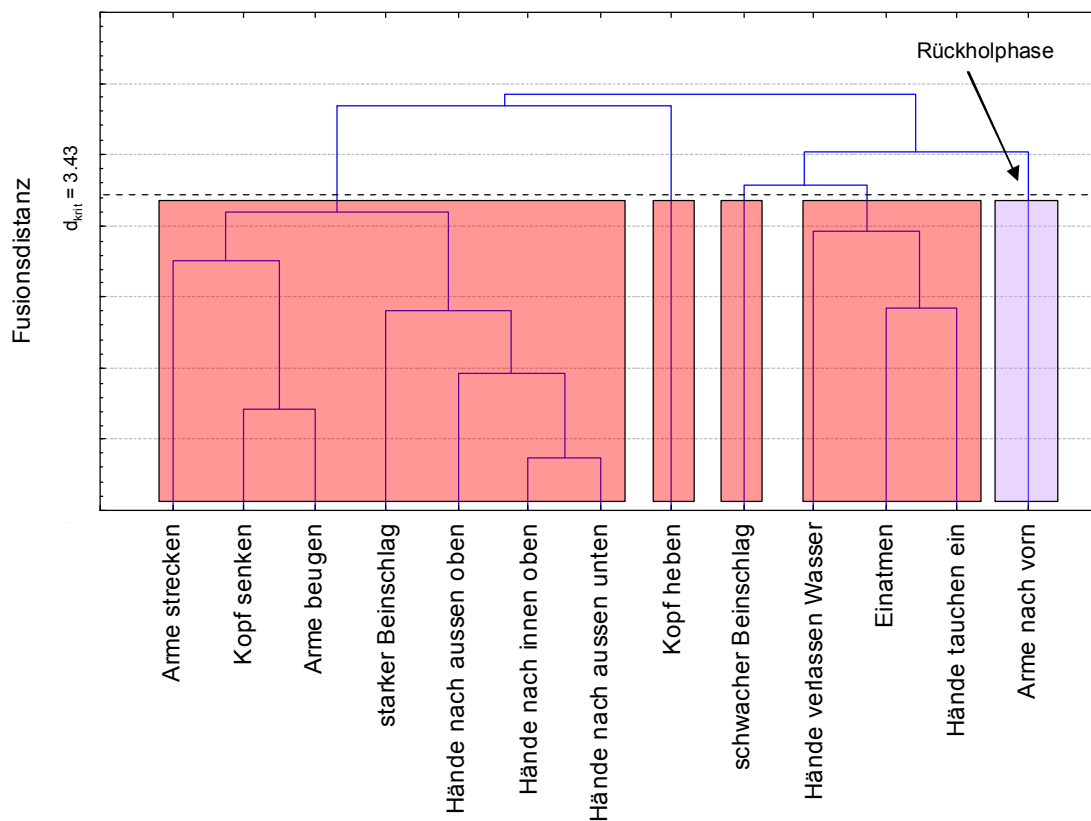


Abbildung 28 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse über die BACs des Delfinschwimmens bei Vp TE (Fortgeschrittener; $d_{krit} = 3.43$; durch die gestrichelte Linie dargestellt). Die unklaren Zuordnungen der BACs sind rot markiert.

In Abbildung 29 ist das Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse eines Experten (Vp ME) zu sehen. Es werden zwei Cluster und ein Single gebildet. Die zwei Cluster enthalten die BACs für die Druckphase und die Zugphase. Das Single bildet das BAC „Arme nach vorn“, welche die Rückholphase bezeichnet. Beachtenswert ist, dass die BACs „Kopf heben“ und „Kopf senken“ der Zugphase zugeordnet sind. Auffällig stellen sich die niedrigen Fusionsdistanzen über die BACs „Hände verlassen Wasser; Einatmen; starker Beinschlag“ dar. Ebenso besteht eine starke Bindung zwischen den BACs „Hände tauchen ein“ und „Schwacher Beinschlag“. Diese niedrigen Fusionsdistanzen zeigen eine stabile Struktur der mentalen Repräsentation der einander zugeordneten BACs.

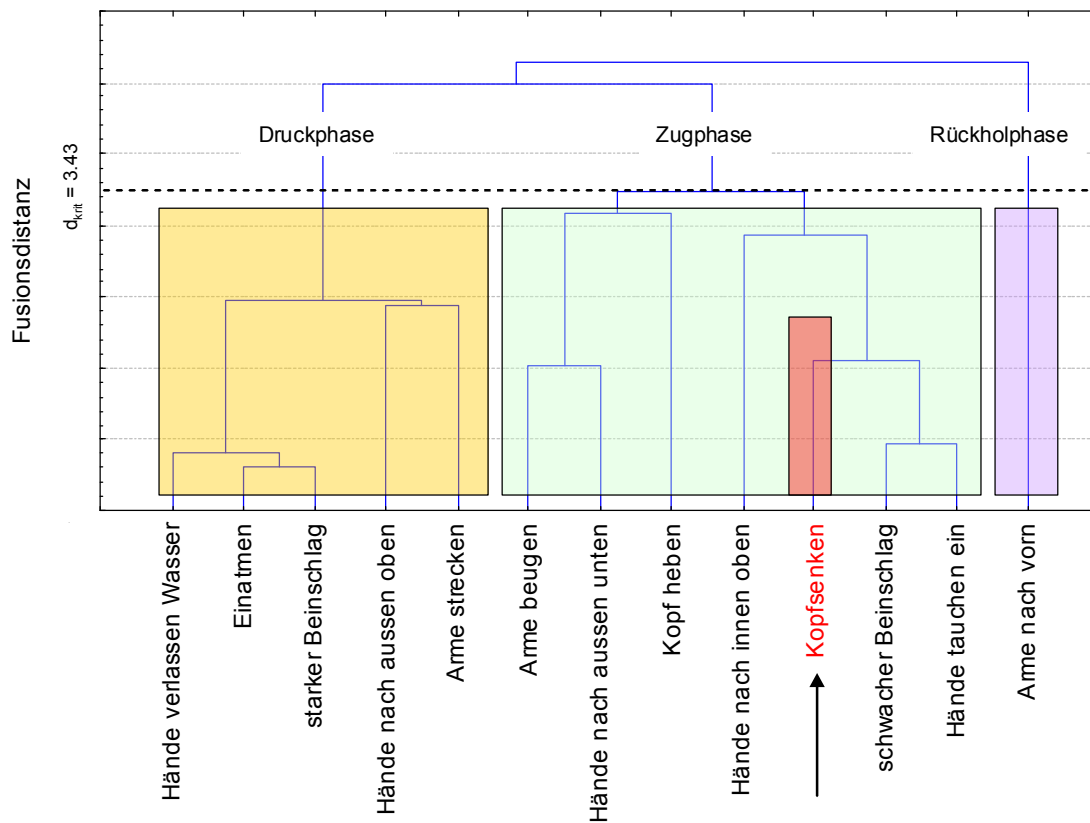


Abbildung 29 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse über die BACs des Delfinschwimmens bei Vp ME ($d_{krit} = 3.43$; durch die gestrichelte Linie dargestellt). Die die wenig funktionale Zuordnung des BACs „Kopf senken“ ist rot markiert und mit einem Pfeil versehen.

Um Unterschiede in der individuellen Clusterlösungen zu ermitteln, wurde im weiteren Verlauf eine Invarianzanalyse durchgeführt. Tabelle 6 zeigt das Ergebnis der Invarianzanalyse in Form einer λ -Matrix. So beträgt die Ähnlichkeit zwischen den individuelle Clusterlösungen $\lambda = .53$. Damit kann festgehalten werden, dass sich die beiden Clusterlösungen nicht ähnlich sind. Zwischen der Experten- und der Referenzstruktur besteht eine große Ähnlichkeit ($\lambda = .86$), zwischen der Fortgeschrittenen- und der Referenzstruktur hingegen nicht ($\lambda = .53$). Diese Ergebnisse bestätigen die oben getätigten Annahmen.

Tabelle 6 Ergebnisse der Invarianzanalyse zwischen den mentalen Strukturen der Datensätze des Fortgeschrittenen (TE), des Experten (ME) und der Referenzstruktur. Ein Invarianzwert von 1.00 spricht für zwei identische Clusterlösungen. Ab einem Wert von $\lambda_{krit} = .68$ sind zwei Clusterlösungen als ähnlich zu betrachten.

| | ME | Referenz |
|------------------------|-----|------------|
| TE (Fortgeschrittener) | .53 | .53 |
| ME (Experte) | - | .86 |

Somit kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass sowohl die individuellen Clusterlösungen als auch die Clusterlösungen über die Subgruppen große Ähnlichkeiten zwischen der Experten- und Referenzstruktur aufweisen. Diese Korrelation trifft nicht für den Vergleich zwischen Fortgeschrittenen- und Referenzstruktur zu.

Die Clusterlösung des ausgewählten Fortgeschrittenen ähnelt nicht der Referenzstruktur. Ein Vergleich mit der Referenzstruktur ergibt für λ einen Wert von .53. Dies bedeutet, dass unter der Betrachtung des dazugehörigen Dendrogramms die strukturelle Verbindung verschiedener BACs fehlt, die ein ökonomisches und effektives Delfinschwimmen möglich machen. Zwar kommt es zu einer Bewegungsausformung, doch ist diese von vielen Fehlern behaftet. Im Vergleich zur Referenzstruktur ist noch keine deutliche Struktur vorhanden, trotz der Tatsache, dass die Vp in der Lage ist, Delfin in der Grobform zu schwimmen. Das Bild dieses Dendrogramms ist vielmehr von fehlerhaften Clustern geprägt, die ihr Korrelat in der Bewegungsausführung finden. So führt die Verbindung der BACs „Einatmen“ und „Hände tauchen ein“ zu einem typischen Fehlerbild, das sich bei Anfängern des Delfinschwimmens findet. Der Kopf wird dabei zeitlich unpassend zu lange über Wasser gehalten.

Ein wichtiger Aspekt ist der Bewegungsrhythmus beim Delfinschwimmen. Er wird durch die Verbindung verschiedener BACs gestiftet. So ist das Verbinden von z.B. „Hände tauchen ein“ und „schwacher Beinschlag“ sowie „Hände verlassen Wasser“ und „starker Beinschlag“ ein wichtiges Indiz für einen vorhandenen, dem Technikleitbild entsprechenden Bewegungsrhythmus. Dieses Bild spiegelt sich im Gegensatz zum Fortgeschrittenen bei den ausgewählten Experten wieder. Ein Vergleich zwischen der individuellen Clusterlösung des Experten und der Referenzstruktur ergibt einen Wert für λ von .86 (vgl. Tabelle 6), was für

eine hohe Ähnlichkeit beider Strukturen spricht. So entspricht die Struktur des ausgewählten Experten weitgehend der Referenzstruktur, lediglich die Bewegung des Kopfes wird unterschiedlich eingesetzt. Dieses ist allerdings wie bereits oben beschrieben ein Merkmal der Delfintechnik, der einen besonders hohen individuellen Ausprägung zugeordnet werden kann.

Die SDA-M ist in der Lage, gruppenspezifische sowie individuelle Fehler darzustellen. Eine gezielte Intervention kann hier ansetzen und helfen, die Fehler zu korrigieren. Dabei können zwei mögliche Wege gewählt werden: a) über die sportpraktische Seite und das gezielte Ausführen schwimmtechnischer Übungen (z.B. Frank, 2002). Oder b) über eine gezielte sportpsychologische Intervention (z.B. Annett, 1995; Eberspächer, 2007).

Mit den vorliegenden Resultaten liegen experimentell ermittelte Hinweise auf eine topographische Struktur der Repräsentation des Delfinschwimmens vor, wie sie schon für andere Sportarten und Bewegungen gefunden wurden (z.B. Heinen, 2005; Schack, 2002). Ebenso kann anhand der Resultate der vorliegenden Untersuchung auf statistisch gesichertem Niveau eine Unterscheidung der Repräsentationsstrukturen zwischen Fortgeschrittenen und Experten sowie ein Zusammenhang zwischen der Repräsentationsstruktur von Experten und der biomechanischen Funktionalstruktur geleistet werden. Dieses ist auf der Ebene der Subgruppen als auch auf der individuellen Ebene möglich.

4.3.3 Expertenrating der Bewegungsqualität

Wie bereits oben erwähnt, führte eine Expertenrunde eine Einschätzung der Bewegungsqualität der Versuchsteilnehmer durch. Die Invarianzwerte, die sich aus dem Clustervergleich mit der Referenzstruktur ergaben, bildeten den individuellen Vergleichswert dazu. Das Ergebnis hierzu ist in Abbildung 30 zu sehen. Dabei sind auf der Y-Achse die individuellen Invarianzwerte der Vpn zur Referenzstruktur aufgetragen, und auf der X-Achse die Einschätzungen der Bewegungsqualität der Vpn. Es kann eine positive und signifikante Korrelation zwischen den Invarianzwerten und den Ratings der Bewegungsqualität errechnet werden ($r = .79; p < .05$) So bestätigen sich die oben gefundenen Ergebnisse und es lässt sich dabei folgendes festhalten: Je strukturierter die mentale Repräsentation ist, desto höher ist die Bewegungsqualität. Dieses Ergebnis wird durch einen statistischen Vergleich der Mittelwerte der eingeschätzten Bewegungsqualität für beide Gruppen (Experten vs. Fortgeschrittene) unterstützt. Es ergibt sich: $t(28) = -8.33; p < .05$. Die Schwimmexperten weisen eine im Mittel um 12 Skalenpunkte höhere Bewegungsqualität auf als die fortgeschrittenen Schwimmer.

Dieses Ergebnis ist für die vorliegende Arbeit von hohem Interesse, da es angenommene Interdependenz bewegungsstruktureller Aspekte (hier operationalisiert mittels der eingeschätzten Bewegungsqualität) mit der zugrunde liegenden kognitiven Strukturierung der Bewegungstechnik (operationalisiert über die Strukturiertheit der mentalen Repräsentationen) unterstreicht.

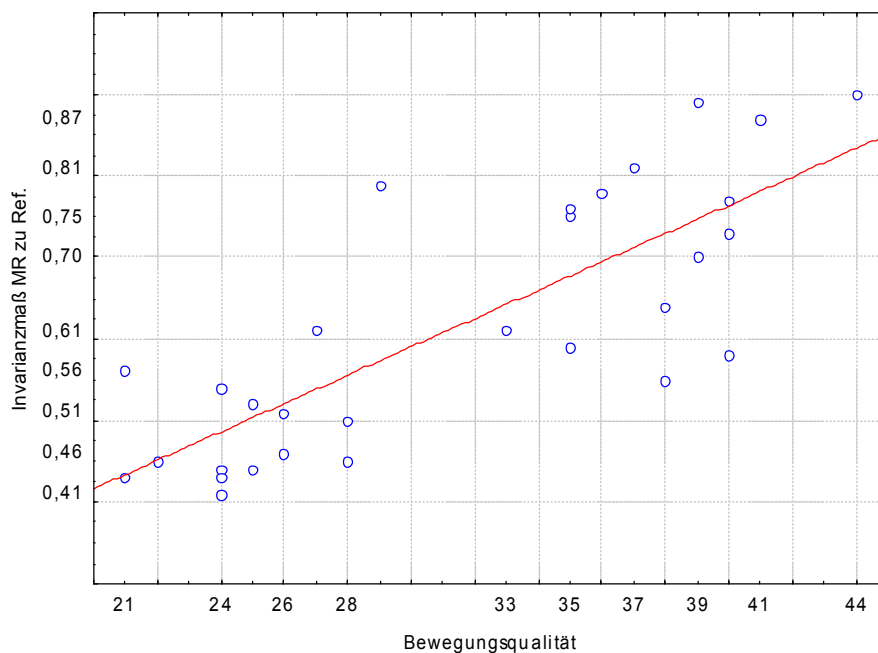


Abbildung 30 Zusammenhang der im Expertenrating ermittelten Bewegungsqualität und der Invarianzmaße der Vpn im Vergleich zur Referenzstruktur ($r = .79$; $p < .05$).

4.4 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine differentielle Analyse zur mentalen Repräsentation des Delfinschwimmens vorzulegen. Untersuchungsgegenstand war dabei die mentale Repräsentation des Delfinschwimmens bei Experten und bei Fortgeschrittenen. Über einen mehrstufigen Extraktionsprozess wurden zunächst die Untersuchungseinheiten (BACs) heraus differenziert. Über ein Expertenrating wurde aus den Untersuchungseinheiten eine Referenzstruktur gebildet, die sich an dem gängigen Technikleitbild zum Delfinschwimmen orientierte.

An einer Stichprobe von 30 Schwimmerinnen und Schwimmern konnte eine allgemeine und differenzielle Analyse durchgeführt werden. Dabei konnte für die Subgruppe der Experten

eine funktional gegliederte Struktur gefunden werden, die sich auf statistisch gesicherter Ebene an einer zuvor im Expertenrating geformten Referenzstruktur orientiert. Die Struktur der Fortgeschrittenen erscheint dagegen nur in einigen Teilen funktional gegliedert. Vielmehr findet sich bei den Fortgeschrittenen eine wenig bzw. unzweckmäßig strukturierte Repräsentation, die zu deutlich beobachtbaren Fehlern in der Bewegungsausführung führt.

Ferner kann festgestellt werden, dass beobachtbare Bewegungsausführungen in einem nachweisbaren Zusammenhang mit der entsprechenden mentalen Repräsentation stehen. So kann angenommen werden, dass die Kenntnis der mentalen Repräsentation dem Trainer im Schwimmsport die Möglichkeit eröffnet, mehrstufig an der Verbesserung des Experteniveaus zu arbeiten. Auf der einen Seite können über schwimmpraktische Übungen bestehende Fehler in der Bewegungsausführung beseitigt werden. Auf der anderen Seite kann durch ein gezieltes mentales Training die mentale Repräsentation der Bewegung verbessert werden. So ist eine Entwicklung vom Fortgeschrittenen zum Bewegungsexperten möglich. Untersuchungen, die in diesem Bereich für andere Sportarten bereits durchgeführt wurden, unterstützen diese Vermutungen (Heinen, 2005).

Die vorliegenden Ergebnisse fügen sich in das Modell der kognitiven Architektur von Schack (2002) ein. Aus theoretischer Sicht wird die dritte Ebene (Ebene mentaler Repräsentationen) berührt. Die Struktur und Dimensionierung mentaler Repräsentation im LZG von Experten und Fortgeschrittenen differenziert sich in unterschiedlicher Art und Weise auf dieser Ebene aus und steht vermutlich mit entsprechenden, aufgabenrelevanten sensomotorischen Repräsentationen in Zusammenhang, welche sich ihrerseits über die Ebene der sensomotorischen Kontrolle bei der späteren Bewegungsausführung in entsprechend funktionale (Experten) oder optimierbare (Fortgeschrittene) Bewegungslösungen umsetzen.

So wie sich die Ergebnisse der Untersuchung des Delfinschwimmens darstellen, wird ein Blick auf eine lernbedingte Veränderung mentaler Repräsentationen im Schwimmen interessant sein. Unter der Berücksichtigung der Ergebnisse aus der ersten Untersuchung und der sich daraus ergebenden Unterschiede der Fortgeschrittenen und der Experten wird der nächste Schritt sein, der Frage nachzugehen, ob die Struktur der mentalen Repräsentation durch eine praktische lehrbasierte Intervention verändert werden kann?

5 Untersuchung 2: Differentielle Untersuchung lernbedingter Veränderung mentaler Repräsentationen im Schwimmen

5.1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurden detaillierte Methoden zu Bewegungsbeobachtung und Bewertung im Schwimmen entwickelt, die dem Aktiven und Trainer ermöglichen, Fehler in der Ausführung zu verifizieren und zu korrigieren (z.B. Pfeifer, 1991). Im Schwimmsport existieren viele Erkenntnisse für eine optimale Gestaltung der Schwimmtechnik unter dem biomechanischen Aspekt. Die Kenntnisse über die interne Regulation bzw. Organisation der Schwimmbewegungen sind dagegen eher gering. Einige Hinweise finden sich z.B. bei Narciss (1993) und Schuck (2001).

Die mentale Repräsentation von Bewegungshandlungen hat bei der Lösung von Bewegungsaufgaben eine wichtige Funktion. Dabei hängt die Qualität der Lösung der Bewegungsaufgabe, neben den biologischen und physikalischen Faktoren und Prozessen, maßgeblich von dem Grad der Expertise des Individuums ab (vgl. Kapitel 4). So konnte in der vorherigen Untersuchung herausgestellt werden, dass die Kopplung von Körperteilbewegungen und somit die Verbindung von Bewegungsrhythmus stiftenden BACs einen besonders wichtigen Aspekt des Experteniveaus ausmachen. Die konzeptuellen Einheiten orientieren sich an grundlegenden Eckpunkten der Bewegung. Es ist anzunehmen, dass sie im Laufe des Übungsprozess unterschiedliche Gewichtung erfahren, wodurch sich die Struktur im Laufe des Lern-, Übungs- und Trainingsprozesses verändert.

Die Verbesserung des Fertigkeiteniveaus spielt bei allen Sportarten und vor allem im Leistungssport eine wichtige Rolle. Gerade im Schwimmsport, wo der direkte Kontakt zwischen Sportler und Trainer durch die äußeren Bedingungen eingeschränkt ist, erhöht sich die Notwendigkeit einer sicheren Verständigung und Verständnis. Dabei spielt die Bewegungsvorstellung oder die mentale Repräsentation von Bewegungswissen des Sportlers eine besonders wichtige Rolle, da sie die von außen sichtbare und erfassbare Technik des Sportlers beeinflusst. Hier bietet sich die Möglichkeit, einzugreifen und somit die Bewegungsvorstellung des Sportlers zu verändern und letztendlich sein Fertigkeiteniveau zu erhöhen. Ziel ist das Erreichen der optimalen Schwimmtechnik, die maßgeblich von einer günstigen Kopplung von Körperteilbewegungen beeinflusst wird (Meinel & Schnabel, 1998).

In der folgenden Untersuchung soll die lernbedingte Veränderung einer Bewegungsrepräsentation im Schwimmen dargestellt werden. Das Lernen von schwimmsportlichen Bewegungen stellt eine Besonderheit im Kanon der Sportarten dar. Das Schwimmen kann nur erlernt werden, wenn zuvor eine komplette Gewöhnung an das neue, den Sportler umgebende Medium stattgefunden hat (Wiessner, 1950; Wilke, 1994). Daher sind die ersten Schwimmversuche in einer neuen Bewegungsform in der Regel auch noch wenig strukturiert und von einer gering vorhandenen Bewegungskopplung geprägt. Darin unterscheiden sich weder Schwimmanfänger noch ungetübte Schwimmer. Mit fortschreitendem Lernprozess und zunehmender Gewöhnung an das neue Bewegungsfeld Wasser erfolgt die Feinformung der Bewegung (Cserépy et al., 2002; Wilke, 1994; Wilke & Daniel, 1996; Wilke & Madsen, 1997). Dabei wirkt sich die mangelnde Wassergewöhnung und die wenig ausgeprägte Fähigkeit, mit dem Medium Wasser umzugehen, negativ auf den Lernprozess aus (Wilke & Daniel, 1996). Daher spielen zwei Faktoren im schwimmerischen Lernprozess eine wichtige Rolle:

1. Anpassung an das Medium / die Fähigkeit mit dem Medium umzugehen.
2. Der Erwerb einer strukturierten Bewegungsvorstellung / einer Schwimmtechnik.

Die fachdidaktische Grundlage für den schwimmerischen Lernprozess bietet der Weg über Wassergewöhnung, Wasserbewältigung, Tiefwassergewöhnung, Tiefwasserbewältigung und dem Techniklernen (Wilke, 1994). Zum Erwerb einer Schwimmtechnik stehen unterschiedliche Wege offen. Über die Ganzheitsmethode wird durch die geeignete Auswahl von schwimmererntechnischen Übungen ein rascher Lernerfolg gesichert (Wilke & Daniel, 1996). Über die Teillernmethode werden Bewegungsdetails ausgeformt (Wilke & Daniel, 1996). Die Ganz – Teil – Ganz – Methode (GTG–Methode) ist eine geeignete Mischform aus beiden Methoden, um Schwimmtechnik zu vermitteln, ohne wichtige Bewegungsdetails zu vernachlässigen. So wird die GTG–Methode auch in dieser Untersuchung als lernmethodische Intervention angewendet.

Es soll nach einer Prä-Testung eine, den Fehlern in der Bewegungsausführung und entsprechenden mentalen Repräsentation folgende, gezielte lernmethodische Intervention zur Verbesserung des Fertigniveaus erfolgen. Eine abschließende Post-Testung soll dann über den Erfolg der Interventionsmaßnahme Auskunft geben.

Aus der vorangegangenen Darstellung und der Basis von Untersuchung 1 können folgende Hypothesen formuliert werden:

1. Durch lernbasierte Intervention nähert sich die Bewegungsrepräsentation Anfängern einem Technikleitbild an.
2. Im Lernprozess findet im Prä- Post-Vergleich der Schwimmanfänger eine Angleichung an die Bewegungsrepräsentation von Experten statt.

5.2 Methode

5.2.1 Versuchspersonen

An der Studie nahmen insgesamt 35 Personen teil. Davon waren $n = 20$ Sportstudierende und $n = 15$ Schwimmsportler. Das Alter der Versuchspersonen (Vpn) lag im Mittel bei 21 (± 5) Jahren. Die Gruppe der Studierenden (Anfänger) befand sich im Grundstudium der Sportwissenschaft. Sie belegten einen wöchentlich im Semester stattfindenden Schwimmkurs (15 Veranstaltungen à 2 SWS), der zur Ausbildung gehörte. Der Gruppe gehörten 5 Frauen an. Der Gruppe der Schwimmer gehörten 7 Frauen an. Die Vpn (Schwimmer) betrieben seit 8 (± 3) Jahren Schwimmsport. Diese Gruppe setzte sich aus Sportlern aus dem Raum Köln/ Bonn zusammen. Eine Reihe von Schwimmern konnte zur Spitzenklasse im Deutschen Schwimmsport gezählt werden. Alle Sportler trainierten täglich mit einem zeitlichen Aufwand von zwei bis fünf Stunden. Während der Sommerferien legten die Sportler in der Regel eine Pause von 4 Wochen ein.

5.2.2 Bewegungsaufgabe

Als Ausgangspunkt der Untersuchung wird die Armbewegung des Kraulschwimmens gewählt. Bei der Armbewegung des Kraulschwimmens erscheint die Kopplung der Bewegungen als Maß der Expertise. Während der Novize die einzelne Körperteilbewegung vielleicht noch beherrscht, je nach Abhängigkeit der Vorerfahrung, scheidet in der Regel die Kopplung der verschiedenen Körperteilbewegungen. Der Fokus bei der Bewegungshandlung liegt hier vielmehr in der Erfüllung koordinativer Normen der Schwimmtechnik. Der Experte hingegen lenkt die Kopplung der Körperteilbewegungen in Richtung Bewegungsziel und Bewegungsökonomie und fokussiert eher auf Leistungsnormen des Schwimmsports.

Um den Blick auf wichtige Zusammenhänge beim Kraulschwimmen nicht über die Betrachtung zahlreicher Bewegungsdetails zu verlieren, soll zunächst ein allgemein gültiger

Überblick über die Schwimmtechnik gegeben werden und folgend für die Abschätzung des Experteniveaus wichtige Details erläutert werden.

Beim Kraulschwimmen handelt es sich um eine Wechselzugtechnik, in der die Antriebsbewegungen abwechselnd mit dem rechten und linken Arm bzw. den rechten und linken Bein ausgeführt werden. Die Körperlage ist dabei flach und gestreckt und wird maßgeblich durch die Position des Kopfes beeinflusst. Der Schwimmer führt dabei eine ausgeprägte Rotation um die Körperlängsachse jeweils zur antriebserzeugenden Seite durch. Die Rückholphase erfolgt unter Beugung im Ellenbogen über Wasser. Beim Kraulschwimmen werden pro Zyklus sechs Beinbewegungen ausgeführt, die Fußstellung ist dabei plantarflektiert und leicht supiniert. Die Beinbewegung ist geprägt von einer flossenähnlichen Bewegung der Füße (abwärts: überstreckt; aufwärts: gestreckt). Die Kopplung der Armbewegung ist jeweils um 90° phasenverschoben zum antreibenden Arm. Die Atemfrequenz ist beim Kraulschwimmen variabel. Sie reicht von einer Zweieratmung, bei der alle zwei Armzüge geatmet wird, bis zur gar keiner Atmung (50m Freistil). Die Atmung steht in einem engen Zusammenhang mit der konditionellen Ausbildung des Schwimmers und seinem besten persönlichen Empfinden.

Für das Herausbilden einer optimalen Bewegungsstruktur ist das Verbinden von verschiedenen Bewegungsmerkmalen nötig (Schnitzler, Seifert, Ernwein, & Chollet, 2008). Dazu übernimmt die Bewegungskopplung eine entscheidende Funktion (vgl. Abbildung 31). Sie ist für das Verbinden der verschiedenen Körperteilbewegungen verantwortlich. Gerade im Schwimmsport ist das Verbinden der Körperteilbewegungen maßgeblich an der Bildung von Bewegungsökonomie beteiligt. Bewegungsökonomie wiederum ist ein wichtiges Expertisezeichen im Schwimmsport. So soll auch in der folgenden Untersuchung die Bewegungskopplung beim Kraulschwimmen besonders mit der SDA-M beleuchtet werden. Dazu wird die Kopplung der Armbewegungen zueinander besonders berücksichtigt. Über die Armbewegung wird der Hauptantrieb beim Kraulschwimmen geleistet.

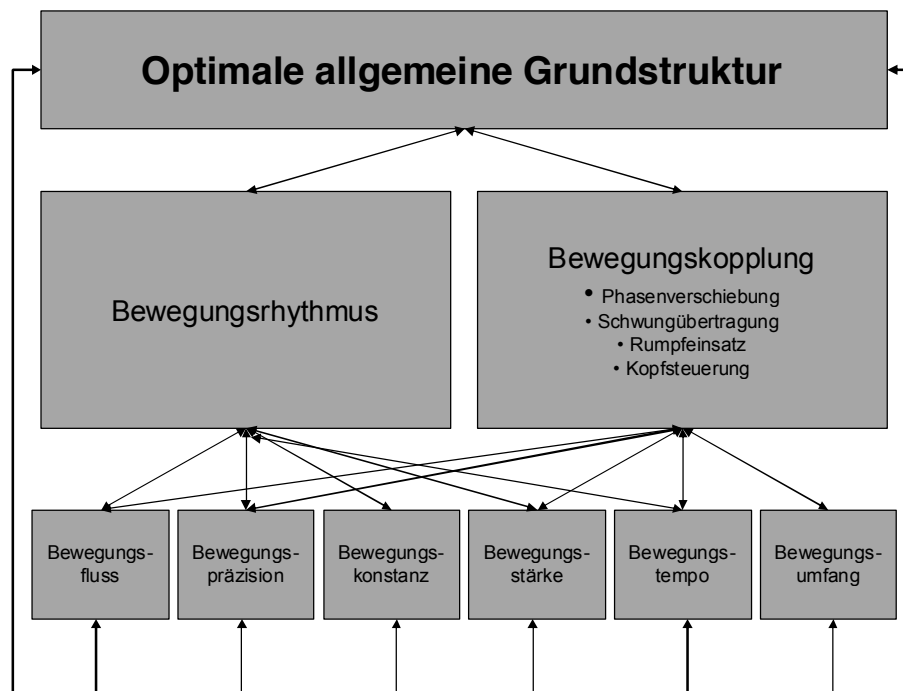


Abbildung 31 Überblick über die qualitätsbildenden Merkmale einer Bewegungsstruktur (nach Rieder, 1991). In der folgenden Analyse der lernbedingten Veränderung der mentalen Repräsentation des Kraulschwimmens soll besonders die Bewegungskopplung betrachtet werden.

Die Bewegung der Arme soll sich wie in der vorangegangenen Untersuchung an den morphologischen Kenngrößen orientieren. Dabei werden die Phasen gemäß Ihrer Bewegungsrichtung eingeteilt (Maglischo, 2003; Spikermann, 1993).

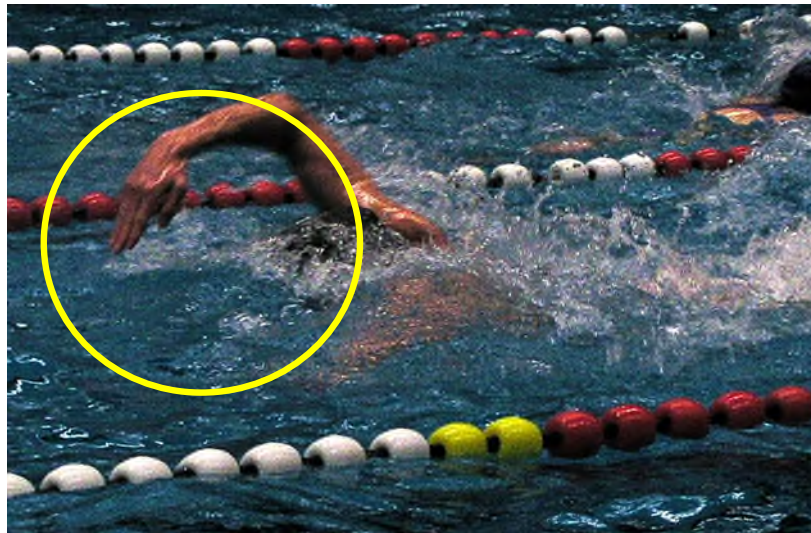


Abbildung 32 Rückholphase kurz vor dem Eintauchen der Hand ins Wasser. Die Hand wird dabei schon in eine günstige Position gestellt.

Mit dem Eintauchen der Hand ins Wasser streckt der Schwimmer den Arm und die Schulter so weit wie möglich in Schwimmrichtung (Maglischo, 2003). Die Hand taucht soweit es geht vor der Schulter ins Wasser, der Körper rotiert dabei um die Körperlängsachse zur eintauchenden Hand (vgl. Abbildung 33). Die anschließende Phase ist von einer Abwärtsbewegung mit leichtem Auswärtsanteil geprägt (Maglischo, 2003). Am Ende dieser Phase wird die so genannte Ellenbogen-vor-Haltung eingenommen (Pfeifer, 1991; Wilke & Madsen, 1997). Diese Phase wird auch Phase des Wasserfassens genannt, da hier die wichtige sensorische Rückmeldung um Druck- und Umströmungsbedingungen an der Hand geleistet wird (Colwin, 2002). Während dieser ersten Phase wird die andere Hand aus dem Wasser gehoben und über die Rückholphase in Ausgangsposition gebracht (Maglischo, 2003).



Abbildung 33 Abwärts-Auswärtsbewegung der Hand. Nach dem Eintauchen der Hand wird diese nach unten und leicht nach außen bewegt. Der Körper ist dabei zur antreibenden Seite ins Wasser rotiert. Der Pfeil zeigt die Bewegungsrichtung der Hand.

Aus der Ellenbogen-vor-Haltung beginnt die Einwärts- Aufwärtsbewegung der Hand. Diese Phase ist auch von rückwärtsgerichteten Elementen überlagert, die aber eher nicht erwünscht sind, sich aber nicht vermeiden lassen. Nach Maglischo (2003) ist dieses die erste antriebswirksame Phase des Kraulschwimmens. Die Phase endet, wenn sich die Hand auf Höhe der Rippen unterhalb der Körperlängsachse befindet. Die Hand des anderen Armes taucht gerade ins Wasser ein und wird im Folgenden mit Arm und Schulter in Schwimmrichtung nach vorn gestreckt (vgl. Abbildung 34). Hier kann es zu individuellen Verschiebungen kommen, wobei die Hand des anderen Arms während der beginnenden Einwärts-Aufwärtsphase oder mit der beginnenden Aufwärts-Auswärtsphase eintaucht (DeMont, 2001). Auf diese Tatsache muss bei der Auswahl der Knotenpunkte Rücksicht genommen werden. In der folgenden Phase, der Aufwärts-Auswärtsphase, wird die Hand nach oben außen bewegt, bis die Hand neben dem Oberschenkel aus dem Wasser gehoben wird.



Abbildung 34 Phasenverschiebung im Kraulzyklus. Während die rechte Hand ins Wasser eingetaucht ist, Arm und Schulter nach vorn in Schwimmrichtung gestreckt werden, befindet sich die andere Hand gerade in der Aufwärts-Auswärtsphase. Diese Kopplung der Bewegungsphasen beim Kraulschwimmen ist eher zu dem Expertenwissen zu rechnen und findet sich nur zufällig bei Schwimmanfängern.

Mit dem Herausnehmen der Hand aus dem Wasser beginnt die Rückholphase, bei der die Hand wieder in Ausgangsposition gebracht wird (vgl. Abbildung 32). Die Rückholphase dient dem Schwimmer dazu a) wieder optimale Ausgangsbedingungen für die anschließende Unterwasserphase herzustellen und b) eine gewisse Entspannung für die Muskulatur des entsprechenden Armes zu sorgen. Daher spricht man beim Kraulschwimmen auch von einer alternierenden Schwimmtechnik, die von einem regelmäßigen Wechsel von Spannung und Entspannung geprägt ist (Wilke & Daniel, 1996).

Das Kraulschwimmen wird in der Schwimmausbildung sehr früh gelehrt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Technik sich mit zunehmendem Expertisegrad in der Feinform zeigt. In der Regel wird die Technik des Kraulschwimmens in der so genannten progressiven Teillernmethode gelehrt (Wilke, 1994; Wilke & Daniel, 1996). Dabei werden zunächst die Körperteilbewegungen isoliert gelehrt und anschließend Schritt für Schritt zusammengefügt.

Für die anstehende Untersuchung war es notwendig, die Zyklusstruktur des Kraulschwimmens mit Hilfe von Experten hinsichtlich ihrer Knotenpunktstruktur

differenziert aufzulösen. Um die Anzahl der Knotenpunkte zu beschränken, wurde ausschließlich die Armbewegung beim Kraulschwimmen betrachtet. Die für die Bewegung relevanten Knotenpunkte wurden in einem mehrstufigen Prozess generiert. Nach Sichtung von umfangreichen Bild- und Videomaterial konnten wichtige Knotenpunkte der Armbewegung herausdifferenziert werden, welche die Bewegung über *BACs* möglichst genau wiedergaben. Zusätzlich wurden Knotenpunkte / *BACs* aus Befragungen und Interviews mit Schwimmern und Trainern gewonnen. Dieser umfangreiche Pool von Knotenpunkten wurde in einer Expertenrunde nochmals gesichtet und diskutiert. Die Expertenrunde bestand aus erfahrenen Trainern und Schwimmlehrern der Deutschen Sporthochschule Köln (n = 10). In einem anschließenden Rating-Verfahren mit den Experten konnten die entscheidenden 14 Knotenpunkte herausgestellt werden (vgl. Tabelle 7). In einer weiteren Expertenrunde konnte dann eine Referenzstruktur gebildet werden, die sich an dem gängigen Technikleitbild des Kraulschwimmens orientiert. Eine Überprüfung der Eindeutigkeit der extrahierten Knotenpunkte an zufällig ausgewählten Schwimmerinnen und Schwimmern (n = 25) des Schwimmbezirks Mittelrhein ergab ein positives Ergebnis. Hier zeigte sich, dass die Schwimmer den Knotenpunkten Bewegungen zuordnen konnten.

Tabelle 7 Knotenpunkte der Armbewegung des Kraulschwimmens. Die Knotenpunkte wurden in einem Expertenrating generiert.

| | |
|--|---|
| (1) <i>Re Hd taucht ein</i> | (2) <i>Re Arm streckt nach vorn</i> |
| (3) <i>Re Hd unter den Ellenbogen und Schulter</i> | (4) <i>Re Hd Einwärtsbewegung</i> |
| (5) <i>Re Hd Aufwärtsbewegung</i> | (6) <i>Re Hd verläßt Wasser</i> |
| (7) <i>Re Rückholphase</i> | (8) <i>Li Hd taucht ein</i> |
| (9) <i>Li Arm streckt nach vorn</i> | (10) <i>Li Hd unter den Ellenbogen und Schulter</i> |
| (11) <i>Li Hd Einwärtsbewegung</i> | (12) <i>Li Hd Aufwärtsbewegung</i> |
| (13) <i>Li Hd verläßt Wasser</i> | (14) <i>Li Rückholphase</i> |

5.2.3 Instrumentarien

- Interviewleitfaden
- *paper-pencil*-Variante der SDA-M
- *Basic-Action-Concepts* als verbale Liste und zugeordnete Bildfolge

5.2.4 Versuchsablauf

Die Untersuchungsgruppe bestand aus Studierenden der Deutschen Sporthochschule Köln (alle Teilnehmer des gleichen Kurses) sowie aus Schwimmerinnen und Schwimmern aus dem Raum Köln / Bonn. Die Untersuchung der Studierenden sowie der Schwimmerinnen und Schwimmer fand im Wintersemester 2004 / 2005 statt. Die Voruntersuchung (Prä-Test) der Studierenden fand in der zweiten Stunde des Semesters statt und die abschließende Untersuchung (Post-Test) in der letzten Stunde des Semesters. Die Daten der Schwimmerinnen und Schwimmer wurde im März 2005 erhoben. Nach der Begrüßung der Sportlerinnen und Sportler wurde das Ziel der Untersuchung mit den Anwesenden geklärt.

Vor jeder einzelnen Untersuchung wurde mit jedem Teilnehmer ein Gespräch zur Kraularmbewegung geführt, in dem die Begrifflichkeiten und die Vorgehensweise geklärt wurden. Aufgrund der großen Teilnehmerzahl, die zeitgleich an der Untersuchung teilnahmen, wurde bei der Untersuchung auf die *paper-pencil*-Variante zurückgegriffen. Bei dieser Variante sind die *BACs* in einer $N \times N$ Matrix randomisiert aufgetragen. Die Zugehörigkeit der jeweiligen Knoten zu dem jeweiligen Anker war in der Matrix durch ein „X“ oder eine „0“ kenntlich zu machen.

Die Untersuchung fand bewusst in einem freien Rahmen statt, um den Probanden die Möglichkeit zu geben, sich auf die ihnen gestellte Aufgabe zu konzentrieren. Den Untersuchungsrahmen bildete eine ruhige Ecke in der Schwimmhalle (bei den Studierenden) bzw. der an die Schwimmhalle grenzende Kraftraum (bei den Schwimmern; vgl. Abbildung 35). Im Vorgespräch konnte das Expertiseniveau der einzelnen Gruppen abgeschätzt werden. Bei diesem Gespräch wurden die individuellen *Basic-Action-Concepts* mit den Wortmarken der SDA-M abgeglichen. Zur Unterstützung kamen dabei Bildfolgen zum Einsatz die die Wortmarken unterstützen sollten (vgl. z.B. Abbildung 32, Abbildung 33, Abbildung 34). Nachhaltige Störungen der Untersuchung durch Verständnisschwierigkeiten wurden so vermieden.

Nach dem Vorgespräch gaben die Vpn ihre Einverständniserklärung ab. Während der Durchführung der SDA-M hatten die Vpn folgender Instruktion zu folgen:

„Gehört der Anker, der in der Kopfzeile steht und der Knotenpunkt, der in der Kopfspalte steht, für die Ausführung des Kraulschwimmens zusammen: Ja oder Nein? Gehören für Dich die beiden Begriffe für die Bewegungsausführung zusammen, dann ordne sie dem Anker zu, indem Du das dazugehörige Feld mit einem „X“ markierst! Gehören für Dich die beiden Begriffe für die Bewegungsausführung nicht zusammen, dann ordne sie auseinander, indem Du das dazugehörige Feld mit einer „0“ markierst!

In der Regel benötigten die Vpn ca. 15 Minuten für die Zuordnung der Begriffe.



Abbildung 35 Vp bei der SDA-M unter Verwendung der Paper-Pencil Variante. Die Untersuchung fand an der Trainingsstätte, hier im Krafraum des Schwimmzentrums der Deutschen Sporthochschule Köln, statt.

Zum Vergleich wurde im Expertenrating eine Referenzstruktur entwickelt, die in die Auswertung der Ergebnisse einfließt. Diese Referenzstruktur wurde im Vorfeld der Untersuchung mit Dozenten und Lehrenden ($n = 5$) der Deutschen Sporthochschule Köln gebildet. Sie soll die vergleichende Basis für die Darstellung und Interpretation der Ergebnisse der Untersuchung darstellen. Grundsätzlich orientiert sich die Referenzstruktur am gängigen Technikleitbild des Kraulschwimmens. Zur Bestätigung der Qualität der Referenzstruktur wurde der Intraklassenkorrelationskoeffizient zwischen den Ratings der Experten errechnet. Dieser ergibt einen Wert von $r_{ICC} = .80$ ($p < .05$).

5.3 *Ergebnisdarstellung und Diskussion*

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt auf der Basis der im Expertenrating gewonnenen Referenzstruktur. So fließt das derzeitig vorherrschende Technikleitbild (s.o.) in die Darstellung ein. Der Vergleich der aus lernbedingten Veränderung der mentalen Struktur gewonnenen Daten erfolgt über die Ergebnisse der Clusteranalyse. Zum weiteren Vergleich wird die Clusterlösung von Schwimmsportler hinzugezogen. Zur Bildung der Cluster wurde eine Fusionsdistanz d_{krit} von 3.95 ($\alpha = 2.5\%$) festgelegt.

5.3.1 *Prä- und Posttest*

Anhand der mit Hilfe der SDA-M gewonnenen empirischen Daten zeigt sich eine recht deutliche Unterscheidung zwischen dem Experteniveau von Anfängern und Absolventen eines Schwimmkurses. Dabei erscheint die Zuordnung der verschiedenen BACs zueinander ein besonderes Merkmal für die Expertise der Vpn zu sein. In allen dabei betrachteten Dendrogrammen der Strukturanalyse wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 2.5\%$ festgelegt. Zunächst soll die mit Hilfe der Experten gewonnene Referenzstruktur betrachtet werden.

Referenzstruktur

In der Referenzstruktur konnten sechs verschiedene Cluster voneinander unterschieden werden. Die funktionale Beziehung der Cluster kann dabei wie folgt beschrieben werden:

Es werden zwei Cluster gebildet, die sich auf die eintauchende Hand beziehen (jeweils für rechts wie links). Die dazugehörigen BACs sind „Li / Re Hd taucht ein“ und „Re / Li Hd Einwärtsbewegung“. Zwei weitere Cluster beziehen sich auf die Ellenbogen-vor-Haltung („Li/Re Hd unter den Ellenbogen und Schulter; Re/Li Rückholphase“). Auffällig ist dabei die niedrige Fusionsdistanz, unter der sich die Cluster bilden. Die mental repräsentierte Ähnlichkeit der in diesem Cluster enthaltenen BACs ist offenbar größer als bei den anderen gebildeten Clustern. Hier ist eine große Einigkeit über die Bewegung bei den Experten vorhanden. Das Herausheben der Hand aus dem Wasser wird über zwei weitere Cluster repräsentiert. Die BACs, die diese Bewegungsphase repräsentieren sind „Li / Re Hd verlässt Wasser; Li / Re Hd Aufwärtsbewegung“ und „Re / Li Hd streckt nach vorn“. In der Gesamtheit zeigt sich bei der Referenzstruktur, dass sich jeweils ein Cluster auf die Aktionen

des rechten Arms respektive Hand bezieht und jeweils spiegelbildlich für Links abgebildet wird.

Die Referenzstruktur gibt damit die grundlegende Bewegungskopplung des rechten und linken Arms wieder. Die Lesart der oben dargestellten Cluster ist jeweils zu spiegeln für den rechten und linken Arm. Für die ersten beiden dargestellten Cluster bedeutet das: Wenn die linke Hand ins Wasser eintaucht, führt die rechte Hand grade eine Einwärtsbewegung durch (ebenso für rechts). Für Cluster drei und vier bedeutet das: wenn die linke Hand sich in der Ellenbogen vor Haltung befindet, führt der rechte Arm die Rückholphase aus (spiegelbildlich auch für den anderen Arm). Für Cluster fünf und sechs besteht der funktionalanalytische Zusammenhang derart, dass wenn der linke Arm nach vorn streckt, sich die linke Hand in der Aufwärtsbewegung befindet und das Wasser verlässt. Somit wird nicht nur eine funktionale Nähe der *BACs* angegeben, sondern auch der Bewegungsrhythmus.

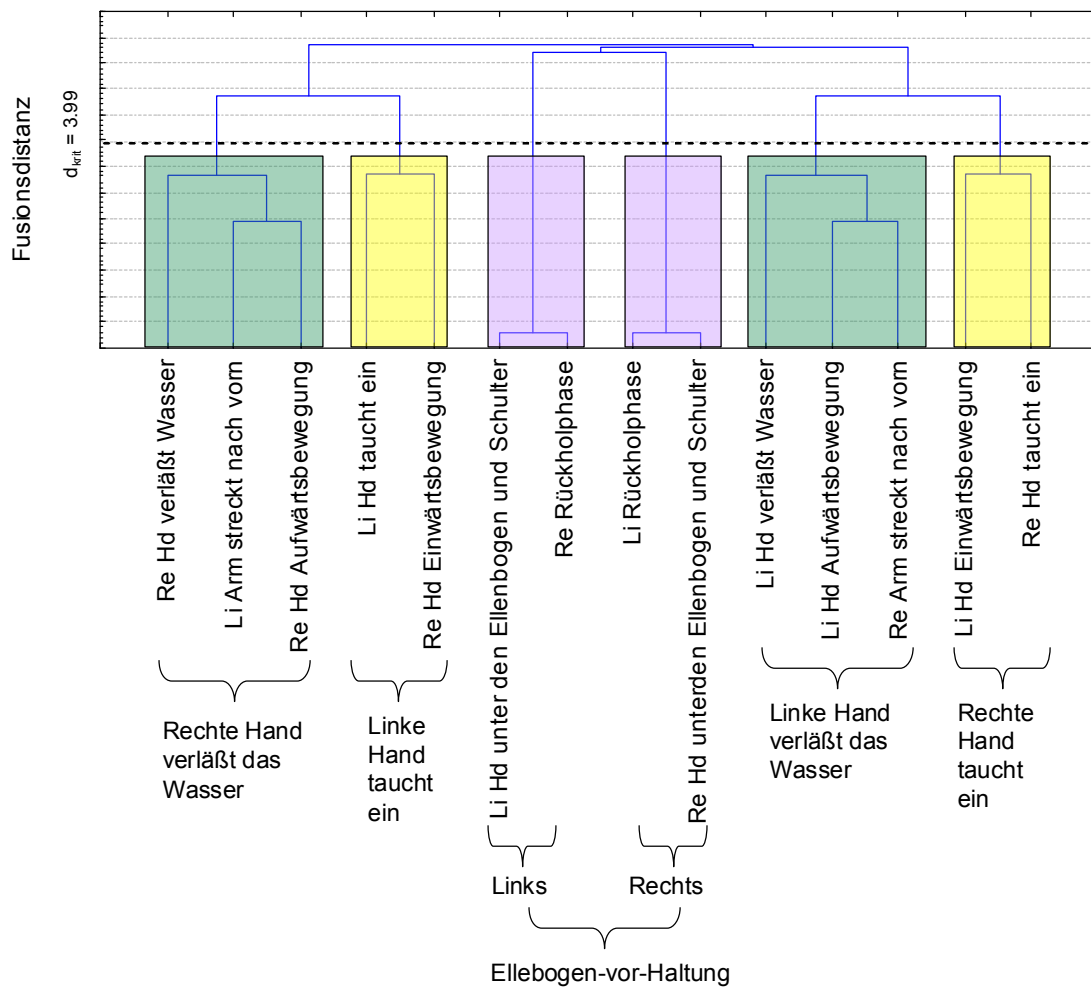


Abbildung 36 Referenzstruktur der hierarchischen Clusteranalyse über die BACs der Kraularmbewegung ($\alpha = 2.5\%$; $d_{krit} = 3.99$; durch die gestrichelte Linie gekennzeichnet). Die gebildeten Cluster bezüglich des Eintauchen der Hand (gelb), des Verlassen der Hand des Wasser (grün) und der Ellebogen-vor-Haltung (lavendel) sind für rechts wie links farblich markiert.

Die Referenzstruktur dient bei der Darstellung der Ergebnisse als Vergleichsgröße, an Hand derer die Entwicklung der Anfänger bis zu den Absolventen des Schwimmkurses verdeutlicht werden soll.

Anfänger (Studierende zu Beginn des Schwimmkurses)

Wie bereits oben ausgeführt, gehören in die Gruppe der Anfänger Studierende der Deutschen Sporthochschule Köln, die am Anfang ihres ersten Schwimmkurses stehen. Die Vpn beherrschen das Kraulschwimmen in der Grobform, allerdings besteht ein großes Problemfeld

in der Kopplung der Armbewegung (rechts/links). In einer Prä-Testung im Vorfeld des Schwimmkurses konnten dabei folgende Ergebnisse gefunden werden.

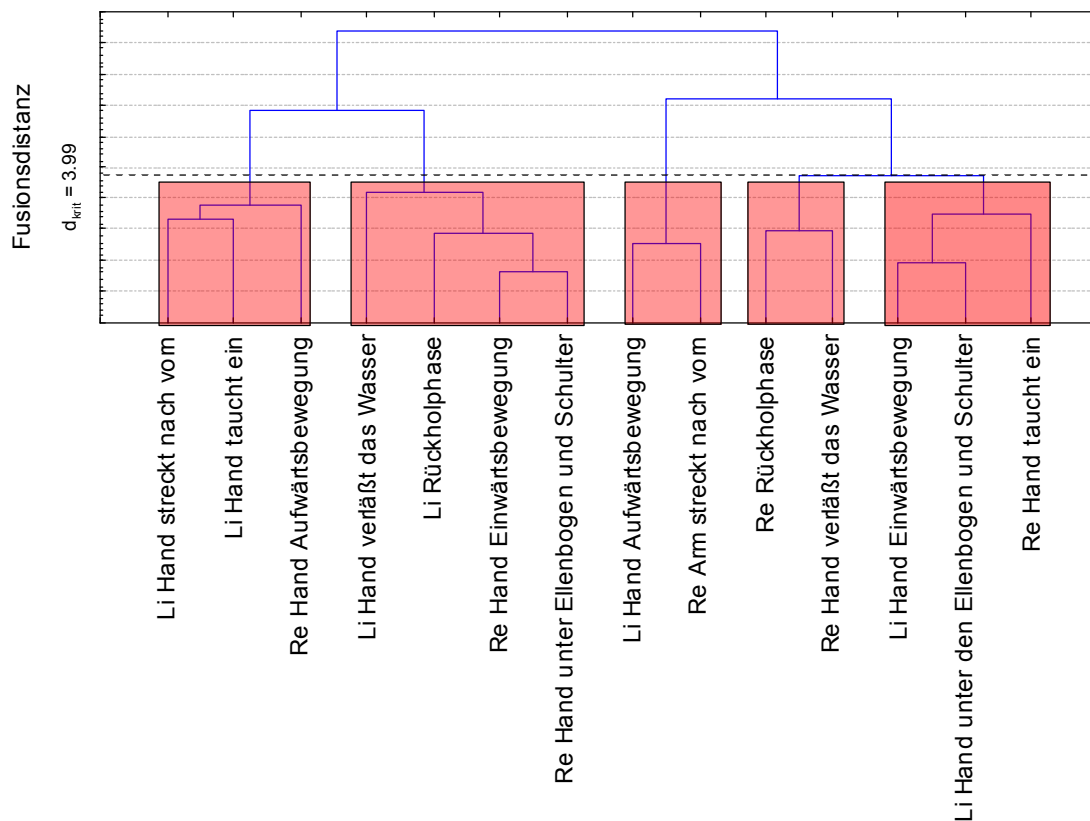


Abbildung 37 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse über die BACs der Kraularmbewegung bei 20 Studierenden/ Anfängern ($\alpha = 2.5\%$; $d_{krit} = 3.99$; gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie). Rot markiert sind die Cluster, die von dieser Stichprobe der Anfänger gebildet wurden.

Im Vergleich zu den sechs Clustern, die in der Referenzstruktur gebildet wurden, finden sich in der Stichprobe der Anfänger fünf Cluster. Konnte in der Referenzstruktur noch eine rechts – links Paarung gebildet werden, so ist dieses bei der Gruppe der Anfänger nicht möglich. Die Beziehung innerhalb der Cluster kann dabei wie folgt beschrieben werden:

Es wird ein Cluster gebildet, der sich auf das Eintauchen der linken Hand ins Wasser bezieht. Die BACs, die diesem Cluster zugeordnet werden, sind „Li Hand taucht ein; Li Hand streckt nach vorn“ und „Re Hand Aufwärtsbewegung“. Ein weiterer Cluster bezieht sich auf das Eintauchen der rechten Hand ins Wasser. Dabei werden die BACs „Re Hand taucht ein; Li Hand unter den Ellenbogen und Schulter“ und „Li Hand Einwärtsbewegung“ zu einer für die

Gruppe der Anfänger funktionalen Einheit verbunden. Vergleicht man hier schon die ersten beiden Cluster, treten die Unterschiede der Bewegungskopplung deutlich hervor. Die Cluster bezüglich des Eintauchens der linken und rechten Hand sind nicht gleich. Der nächste Cluster, der gebildet wird, verbindet die *BACs* bezüglich des Verlassens der linken Hand aus dem Wasser. Die *BACs* „*Li Hand verlässt das Wasser; Li Rückholphase; Re Hand unter den Ellenbogen und Schulter*“ und „*Re Hand Einwärtsbewegung*“ bilden hier die Funktionalstruktur der Anfänger. Der vierte Cluster, vereinigt die *BACs*, die nur die Anfänger der Rückholphase des rechten Arms zuordnen („*Re Rückholphase; Re Hand verlässt Wasser*“). Hier findet sich gar keine mental repräsentierte Ähnlichkeit der *BACs* des Arms / der rechten Hand zur den *BACs* des linken Arms / der linken Hand. Somit ist auch keine Bewegungskopplung an dieser Stelle des Kraularm-Zyklus bei der Gruppe der Anfänger mental repräsentiert. Cluster Nummer fünf vereint die *BACs* der Aufwärtsbewegung der linken Hand („*Li Hand Aufwärtsbewegung; Re Arm streckt nach vorn*“). Hier findet sich eine funktionale Ähnlichkeit zu Referenzstruktur. Zwar fehlt das *BACs* „*Li Hd verlässt Wasser*“, aber dennoch zeigt sich hier doch eine Ähnlichkeit zur Referenzstruktur.

Absolventen des Schwimmkurses

Nachdem die Schwimmanfänger an einem einsemestrigen Schwimmkurs teilgenommen haben, wurden sie einem Post-Test unterzogen. Hauptinhalt des Kurses waren die Wechselzugschwimmarten. Der besondere Schwerpunkt lag auf der Verbindung der verschiedenen Körperteilbewegungen.

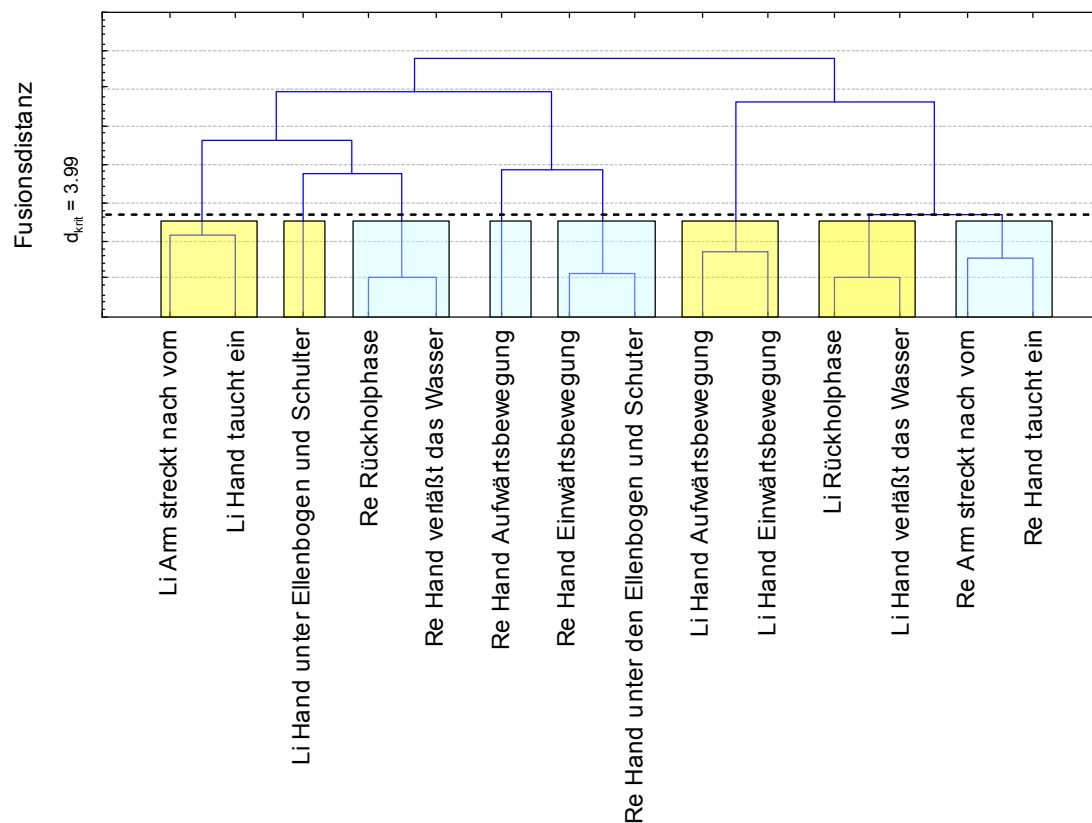


Abbildung 38 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse der Schwimmanfänger nach absolvierten Schwimmkurs ($\alpha = 2.5\%$; $d_{krit} = 3.99$; gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie). Die Bewegungen der linken Seite sind gelb markiert, die Bewegungen der rechten Seite blau.

Die hierarchische Clusteranalyse nach absolviertem Schwimmkurs (vgl. Abbildung 38) weist einige Unterschiede im Vergleich zum Prä-Test auf. In einer ersten Übersicht kann festgestellt werden, dass das Dendrogramm als Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse wesentlich differenzierter erscheint als zuvor. Im Gegensatz zur Prä-Testung werden nun fünf Cluster und zwei Singles gebildet, deren funktionale Bindung, bis auf eine Ausnahme, immer zum jeweiligen Arm stattfindet: Es wird ein Cluster gebildet, welches sich auf das Eintauchen der linken Hand bezieht („Li Hand taucht ein; Li Arm streckt nach vorn“). Der nächste Cluster verbindet die BACs zum Eintauchen der rechten Hand („Re Hand taucht ein; Re Arm streckt nach vorn“). Ein weiter Cluster wird gebildet, der sich auf das Verlassen des Wassers der linken Hand bezieht. Die dazugehörigen BACs sind „Li Hand verläßt das Wasser; Li Rückholphase“. Es wird ein Cluster gebildet, der sich auf das Verlassen des Wassers der rechten Hand bezieht („Re Hand verläßt das Wasser; Re Rückholphase“). Der folgende

Cluster nimmt Bezug auf die Ellenbogen-vor-Haltung des rechten Arms („*Re Hand unter den Ellenbogen und Schulter; Re Hand Einwärtsbewegung*“). Der funktionale Ablauf der Einwärtsbewegung der linken Hand wird durch die BACs „*Li Hand Einwärtsbewegung; Li Hand Aufwärtsbewegung*“ repräsentiert. Die bisher aufgeführten Cluster der Struktur der mentalen Repräsentation des Kraulschwimmens bei den Absolventen des Schwimmkurses beziehen sich entweder auf den rechten Arm / rechte Hand oder auf den linken Arm / linke Hand. Die den Clustern zugeordneten BACs sind chronologisch korrekt zugeordnet, allerdings geben die Cluster keine Kopplung der Bewegung des rechten Arms zu den Bewegungen des linken Arms wieder. Der letzte Cluster wird im ersten Fusionsschritt knapp unterhalb des kritischen Distanzwertes ($d_{krit} = 3.99$) gebildet. Er verbindet die jeweils fusionierten BACs des rechten und linken Arms („*Re Arm streckt nach vorn; Re Hand taucht ein*“ und „*Li Rückholphase; Li Hand verlässt das Wasser*“). Hier ist eine Kopplung zu finden, die aber dem Vergleich mit der Referenzstruktur nicht standhält. In der Struktur der Absolventen des Schwimmkurses finden sich zwei Singles („*Li Hand unter den Ellenbogen und Schulter; Re Hand Aufwärtsbewegung*“), die keine Zuordnung zu einem Cluster unterhalb der kritischen Distanzwertes ($d_{krit} = 3.99$) aufweisen.

Schwimmer

Wie Eingangs schon erwähnt, sollen Schwimmsportler (Schwimmer) hier als Vergleich dienen. Durch den Grad ihrer schwimmsportlichen Ausbildung kommen sie für diese Untersuchung als Vergleichsgröße in Betracht, da sie in ihrer täglichen Trainingstätigkeit praktisch mit dem Technikleitbild in Berührung kommen. In Abbildung 39 ist das Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse aktiver Schwimmsportler dargestellt. Es werden fünf Cluster gebildet. Ein Cluster bezieht sich dabei auf das Eintauchen der linken Hand („*Li Hand taucht ein; Li Arm streckt nach vorn; Re Hand verlässt das Wasser; Re Hand Aufwärtsbewegung*“). Der nächste Cluster vereint die BACs „*Li Hand Rückholphase*“ und „*Li Hand verlässt das Wasser*“. Er bezieht sich damit auf das Herausheben der linken Hand aus dem Wasser. Im folgenden Cluster werden wiederum zwei Bewegungen eines Armes in einem Cluster vereint. Dieser Cluster bezieht sich auf die Ellenbogen-vor-Haltung („*Rechte Hand unter Ellenbogen und Schulter; Re Hand Einwärtsbewegung*“). Die Ellenbogen-vor-Haltung ist wieder im nächsten Cluster die verbindende Phase („*Li Hand Einwärtsbewegung; Li Hand unter Ellenbogen und Schulter; Re Hand Rückholphase*“). Der letzte Cluster bezieht sich auf das Eintauchen der rechten Hand ins Wasser („*Re Hand taucht ein; Re Hand streckt nach vorn; Li Hand Aufwärtsbewegung*“).

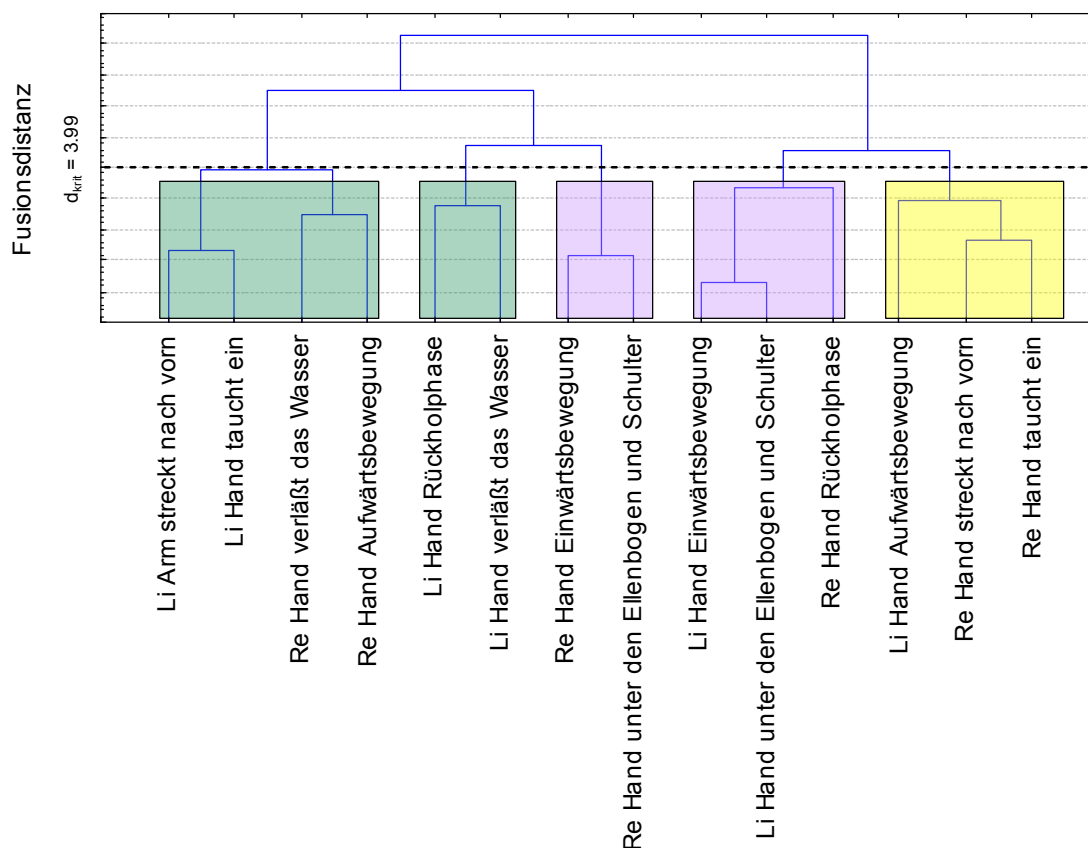


Abbildung 39 Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse der Schwimmsportler, die mehrmals wöchentlich trainieren ($\alpha = 2.5\%$; $d_{krit} = 3.99$; gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie)

Die hierarchische Clusteranalyse der Schwimmsportler (Schwimmer) zeigt ebenso wie bei den Absolventen des Schwimmkurses, dass sich im Mittel Cluster bilden, die sich auf einen Arm beziehen. Wiederum andere Cluster vereinen *BACs*, die sich auf den rechten bzw. linken Arm beziehen.

Um die Unterschiede der subgruppenspezifischen Clusterlösungen zu ermitteln, wurde im weiteren Verlauf eine Invarianzanalyse durchgeführt. Tabelle 8 zeigt das Ergebnis der Invarianzanalyse in Form einer λ -Matrix. So beträgt die Ähnlichkeit zwischen den mittleren Clusterlösungen der Anfänger und der Absolventen des Schwimmkurses $\lambda = .70$, zwischen Anfängern und Schwimmern $\lambda = .66$, und zwischen Anfängern und Referenzstruktur $\lambda = .62$. Die Ähnlichkeit zwischen den Absolventen des Schwimmkurses und den Schwimmern liegt bei $\lambda = .63$. Die Referenzstruktur und die Clusterlösung der Absolventen kommen auf einen Invarianzwert von $\lambda = .65$. Den größten Ähnlichkeitswert weist die Clusterlösung der

Schwimmer zur Referenzstruktur auf ($\lambda = .81$). Legt man einen Ähnlichkeitswert von $\lambda = .68$ zugrunde, sind sich die Clusterlösungen der Anfänger und der Absolventen des Schwimmkurses ähnlich.

Tabelle 8 Ergebnisse der Invarianzanalyse zwischen den mentalen Strukturen der Datensätze der Anfänger, der Absolventen des Schwimmkurses, den aktiven Schwimmern und der Referenzstruktur. Ein Invarianzwert von 1.00 spricht für zwei identische Clusterlösungen. Ab einem Wert von $\lambda_{krit} = .68$ sind zwei Clusterlösungen als ähnlich zu betrachten.

| | Absolventen Schwimmkurs | Schwimmer | Referenz |
|-------------------------|-------------------------|-----------|------------|
| Anfänger | .70 | .66 | .62 |
| Absolventen Schwimmkurs | - | .63 | .65 |
| Schwimmer | | - | .81 |

Erwartungsgemäß weist die Gruppe der aktiven Schwimmer die größte Ähnlichkeit mit der gebildeten Referenz auf ($\lambda = .81$). Doch in dieser Deutlichkeit war dieses Ergebnis nicht zu erwarten. Die Gruppe der Schwimmer besitzt nahezu eine identische Bewegungsvorstellung wie die Gruppe der Experten, die die Referenzstruktur gebildet haben. Die Entwicklung der Struktur der mentalen Repräsentation für die Studierenden im Schwimmkurs wird an der Entwicklung der Invarianzwerte deutlich. Am Ende des Kurses nähern sich die Clusterlösungen der Vpn tendenziell der Referenzstruktur an.

Die Ergebnisse stellen dabei deutlich heraus, dass sich bei den Anfängern eine fehlerhafte Kopplung der Bewegungsaktionen des rechten zum linken Arm abzeichnet. Eine eindeutige Zuordnung der *BACs* zu einander findet nicht statt (vgl. Abbildung 37). Diese Tatsache spricht für eine mangelnde Ordnung der *BACs*. Im Lernprozess sollte eine Ordnungsbildung stattfinden, die die Bewegungskopplung verbessert. Die Vpn stehen erst am Anfang ihrer Schwimmausbildung und es ist daher anzunehmen, dass bei den meisten Vpn noch keine geordnete Bewegungsstruktur repräsentiert ist oder die Repräsentation noch lückenhaft ist. Wird die Referenzstruktur einer Bewertung zu Grunde gelegt, so lässt sich feststellen, dass einige *BACs* schon in einer Weise dicht zusammenstehen, dass eine Fortbewegung im Wasser möglich scheint. Im Sinne einer Bewegungsökonomie ist dieses allerdings nicht der Fall.

Die Clusterlösung der Gruppe der Schwimmanfänger deutet auf eine unrhythmische Armbewegung hin. Dieses Bewegungsverhalten ist häufig bei wenig geübten Schwimmern zu sehen. Die bestehende Struktur der mentalen Repräsentation ist nicht darauf ausgelegt, die Bewegungen des rechten Arms mit denen des linken Arms zu verbinden, sondern vielmehr an den Bewegungsmustern des einzelnen Arms. Die Folge dessen ist eine häufig bei Anfängern feststellbare Abweichung der Bewegungskopplung. Dabei ist eine Phasenverschiebung von 180° zu beobachten (Zeitgleich zum Eintauchen des rechten oder linken Arms wird der andere Arm aus dem Wasser gehoben). Oder es findet gar keine Phasenverschiebung statt. Die eigentliche Schwierigkeit des Kraulschwimmens besteht nicht im Erwerb der *BACs*, sondern vielmehr in der Kopplung der *BACs*, die sich auf den linken Arm beziehen, mit denjenigen, die sich auf den rechten Arm beziehen. Somit kann hier festgehalten werden, dass eine gezielte Intervention, die sich mit der Kopplung von Körperteilbewegungen, für die vorliegende Untersuchung speziell mit der Armbewegung, beschäftigt, ein erfolgversprechendes Mittel sein kann, erfolgreich die Schwimmtechnik zu erwerben.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Absolventen des Schwimmkurses lässt sich feststellen, dass alle gebildeten Cluster sich entweder auf den rechten oder linken Arm beziehen. Im Vergleich zum Prä-Test fällt der Post-Test dennoch wesentlich strukturierter aus. Die Clusterung hat einen funktionaleren Bezug. Dieser bezieht sich zum größten Teil auf die chronologische Abfolge der Bewegungen des entsprechenden Armes.

Somit scheinen die Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse den Weg der Lernenden zum ökonomischen Kraulschwimmen widerzuspiegeln.

Erstaunlicherweise bringt die Invarianzanalyse eine Besonderheit zu Tage. So ergibt sich eine größere Ähnlichkeit zwischen den Schwimmern und den Anfängern, als zwischen den Absolventen des Schwimmkurses und den Schwimmern (vgl. Tabelle 8). Eventuell liegt das an der großen Variabilität der Schwimmtechnik der Schwimmer. So entwickelt jeder Schwimmer im Laufe seiner leistungssportlichen Laufbahn einen individuellen Schwimmstil, der teilweise vom Technikleitbild abweichen kann (DeMont, 2001; Maglischo, 2003).

In diesem Zusammenhang lässt sich feststellen, dass alle getesteten Studierenden die Anforderungen des Kurses zum Zeitpunkt der Posttestung erfüllt haben. D.h. sie waren in der Lage Kraul gemäß der Parameter, die durch die Referenzstruktur festgelegt wurden, zu erfüllen. Standardmäßig haben nicht alle Studierenden das gleiche Niveau der Bewegungsausführung erreicht. Interindividuelle Unterschiede prägen hier die

Bewegungsausführung. Die Betrachtung einer individuellen Clusterlösung soll dies hier exemplarisch verdeutlichen.

Zusammenfassend kann eine Umstrukturierung der Struktur der mentalen Repräsentation über die Mittel der Gruppen tendenziell nachgewiesen werden. Hier kann ein Bezug zur gefundenen Besonderheit der Invarianzwerte zwischen Schwimmern, Anfängern und Absolventen des Schwimmkurses hergestellt werden. In der Regel haben die getesteten Schwimmanfänger schon eine Struktur mentaler Repräsentation gebildet. Im Lernprozess werden solche Strukturen aufgebrochen und umstrukturiert. So nähert sich die Struktur der mentalen Repräsentation der Referenzstruktur langsam an. Für eine deutlichere Annäherung an die Referenzstruktur wäre eine längere Lern- und Übungsphase nötig. Diese war allerdings aufgrund der Semesterdauer auf 15 Wochen begrenzt war.

Eine Annäherung an die Referenzstruktur kann nur bis zu einem gewissen Punkt erfolgen. Hier sind konditionelle Fähigkeiten und anthropometrische Entwicklung mögliche begrenzende Faktoren, ebenso wie die im Leistungssport nötige Spezialisierung auf Schwimmarten und Streckenlängen. Ab diesem Punkt erfolgt eine Individualisierung der Struktur der mentalen Repräsentation, was wiederum eine Entfernung von der Referenzstruktur bedeuten kann.

Im Folgenden soll die lernbedingte Veränderung der Struktur der mentalen Repräsentation auf der Basis der Ergebnisse einer individuellen Clusterlösung dargestellt werden.

5.3.2 Individuelle Clusterlösungen

Für die Betrachtung der individuellen Clusterlösung wurde die Vp mit der besten Bewegungsausführung am Ende des Schwimmkurses gewählt. Zum Vergleich wurde ein Schwimmer gestellt, der mit seiner Leistung im Bereich der Deutschen Spitze über 50m Freistil zu finden ist. Die Bestzeit des Aktiven liegt bei 50m Freistil bei 0:23,2 min. Die Ermittlung der Vp erfolgte anhand der oben aufgeführten Eckpunkte der Schwimmtechnik und wurde im Expertenrating bestätigt.

Um die Unterschiede der individuellen Clusterlösungen zu Beginn und zum Ende des Schwimmkurses zu ermitteln, wurde eine Invarianzanalyse der Clusterlösungen durchgeführt. Tabelle 9 zeigt das Ergebnis der Invarianzanalyse in Form einer λ -Matrix. In der Tabelle sind die Ergebnisse der Invarianzanalyse zwischen der Vp 22 zu Beginn des Schwimmkurses

(Anfänger), am Ende des Schwimmkurses (Absolvent Schwimmkurs), einem Schwimmer (Vp 13) und der Referenzstruktur zu sehen.

So geben die Ergebnisse der Invarianzanalyse für Vp 22 zur Referenzstruktur zu Beginn des Schwimmkurses einen Wert für λ von .56 an. Somit kann die Struktur der Vp als unähnlich zur Referenzstruktur angesehen werden. Am Ende des Schwimmkurses ergibt sich ein Ähnlichkeitswert $\lambda = .75$, womit die Struktur des Absolventen ähnlich der Referenzstruktur ist. Der Vergleich zu einem Schwimmsportler ergibt weder zu Beginn ($\lambda = .51$), noch am Ende des Schwimmkurses ($\lambda = .53$) ähnliche Clusterlösungen. Dies bedeutet, dass die Struktur des Studierenden zu keinem Zeitpunkt eine Ähnlichkeit zu der des Schwimmers aufweist. Der Schwimmer weist aber eine zur Referenzstruktur ähnliche Clusterlösung auf ($\lambda = .71$).

Tabelle 9 Ergebnisse der Invarianzanalyse zwischen den mentalen Strukturen der Datensätze der Vp 22 als Anfänger und als Absolvent des Schwimmkurses(), einem aktiven Schwimmer (Vp 13) und der Referenzstruktur. Ein Invarianzwert von 1.00 spricht für zwei identische Clusterlösungen. Ab einem Wert von $\lambda_{krit} = .68$ sind zwei Clusterlösungen als ähnlich zu betrachten.*

| | Absolvent Schwimmkurs Vp 22* | Schwimmer Vp 13 | Referenz |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------|------------|
| Anfänger (Vp 22) | .51 | .51 | .56 |
| Absolvent Schwimmkurs (Vp 22*) | - | .53 | .75 |
| Schwimmer (Vp 13) | | - | .71 |

In Abbildung 40 ist die individuelle Clusterlösung von Vp 22 zu Beginn des Schwimmkurses dargestellt (Prä-Test). Bei einem distanzkritischen Wert von $d_{krit} = 3.99$ bilden sich drei Cluster und acht Singles. Der erste Cluster bezieht sich mit den BACs „Re Hd verlässt Wasser“ und „Re Hd Aufwärtsbewegung“ auf das Herausnehmen der rechten Hand aus dem Wasser. Hier findet sich wieder ein chronologischer Zusammenhang zwischen den BACs, der aber keine Kopplung des rechten und linken Arms zulässt. Der nächste Cluster gibt im

Vergleich zur Referenzstruktur eine fehlerhafte Bewegungskopplung wieder („*Re Hd taucht ein; Li Hd verlässt das Wasser*“). Der dritte Cluster, der sich auf das nach vorn Strecken des linken Arms bezieht, beinhaltet die *BACs* „*Li Arm streckt nach vorn; Re Hd Einwärtsbewegung*“. Die *BACs* „*Li Hd taucht ein; Li Hd Einwärtsbewegung; Re Arm streckt nach vorn; Li Hd unter den Ellenbogen und Schulter; Re Hd unter den Ellenbogen und Schulter; Re Rückholphase; Li Rückholphase; Li Hd Aufwärtsbewegung*“ bilden jeweils Singles und sind keiner funktionalen Struktur zugeordnet.

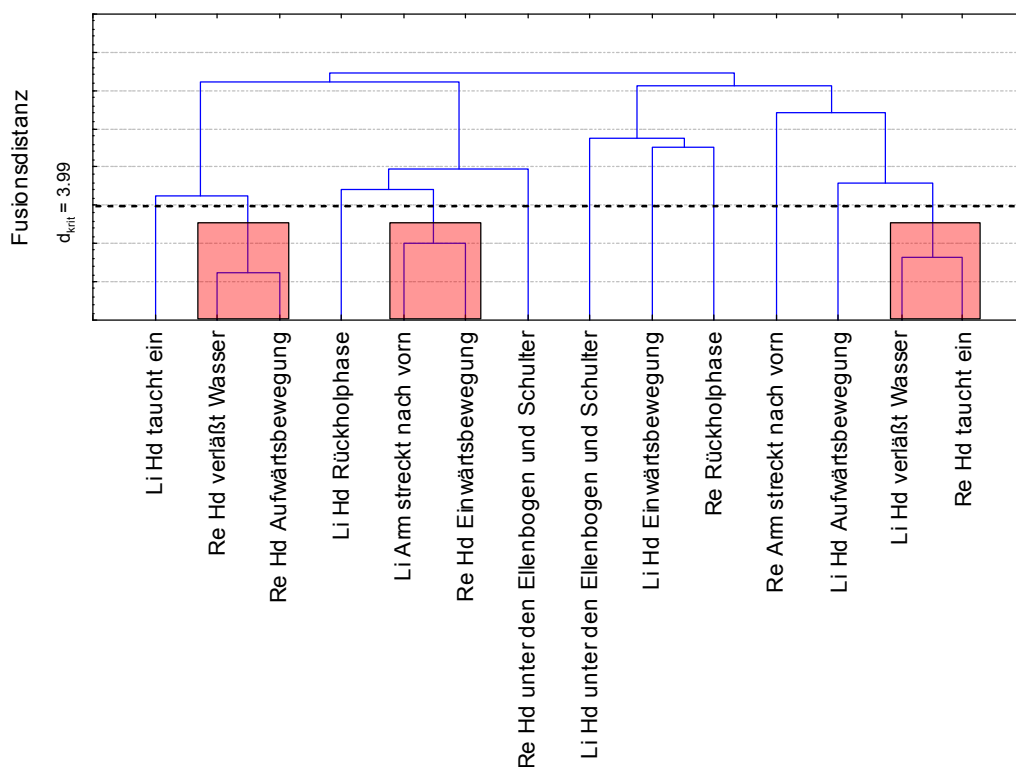


Abbildung 40 Eine individuelle Clusterlösung (Vp 22) zu Beginn des Schwimmkurses ($\alpha = 2.5\%$; $d_{krit} = 3.99$; gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie).

Am Ende des einsemestrigen Schwimmkurses wurde derselbe Studierende erneut getestet. Abbildung 41 zeigt das Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse am Ende des Schwimmkurses (Post-Test). Auch hier wurde ein distanzkritischer Wert von $d_{krit} = 3.99$ der Analyse zu Grunde gelegt. Es bilden sich dabei sechs Cluster, die Aktionen des linken und rechten Armes enthalten. Hier findet somit eine Kopplung der Bewegung beider Arme zueinander statt. Die ersten beiden Cluster beziehen sich auf die eintauchende Hand (jeweils für rechts wie links). Die zusammengehörigen *BACs* sind „*Li / Re Hd taucht ein; Re / Li Hd*

Einwärtsbewegung“ und *„Re / Li Arm streckt nach vorn“*. Der Unterschied zur Referenzstruktur ist die Fusion mit dem *BAC „Re / Li Arm streckt nach vorn“*. Die nächsten beiden Cluster beziehen sich auf die Ellenbogen-vor-Haltung (*„Li/Re Hd unter den Ellenbogen und Schulter; Re/Li Rückholphase“*). Diese beiden Cluster sind nahezu identisch mit der Referenzstruktur und zeichnen sich durch eine niedrige Fusionsdistanz aus, was für eine stabile mentale Repräsentation dieser funktionalen Beziehung spricht. Zwei weitere Cluster beinhalten die *BACs* für die Funktionalstruktur des Heraushebens der Hand aus dem Wasser (*„Li/Re Hd verlässt Wasser; Li/Re Hd Aufwärtsbewegung“*). An dieser Stelle fehlt das wie oben ausgeführt fehlerhaft zugeordnete *BAC „Re / Li Arm streckt nach vorn“*.

Für die Lesart heißt das bezogen auf den linken Arm: Wenn die linke Hand ins Wasser eintaucht und der Arm dabei nach vorn streckt, befindet sich die rechte Hand in der Einwärtsphase. Wenn der linke Arm sich in der Ellenbogen-vor-Haltung befindet, führt der rechte Arm die Rückholphase aus. Und abschließend, wenn die linke Hand das Wasser verlässt, hat sie zuvor eine Aufwärtsbewegung ausgeführt. Ebenso stellt sich die Bewegungskopplung für den rechten Arm dar.

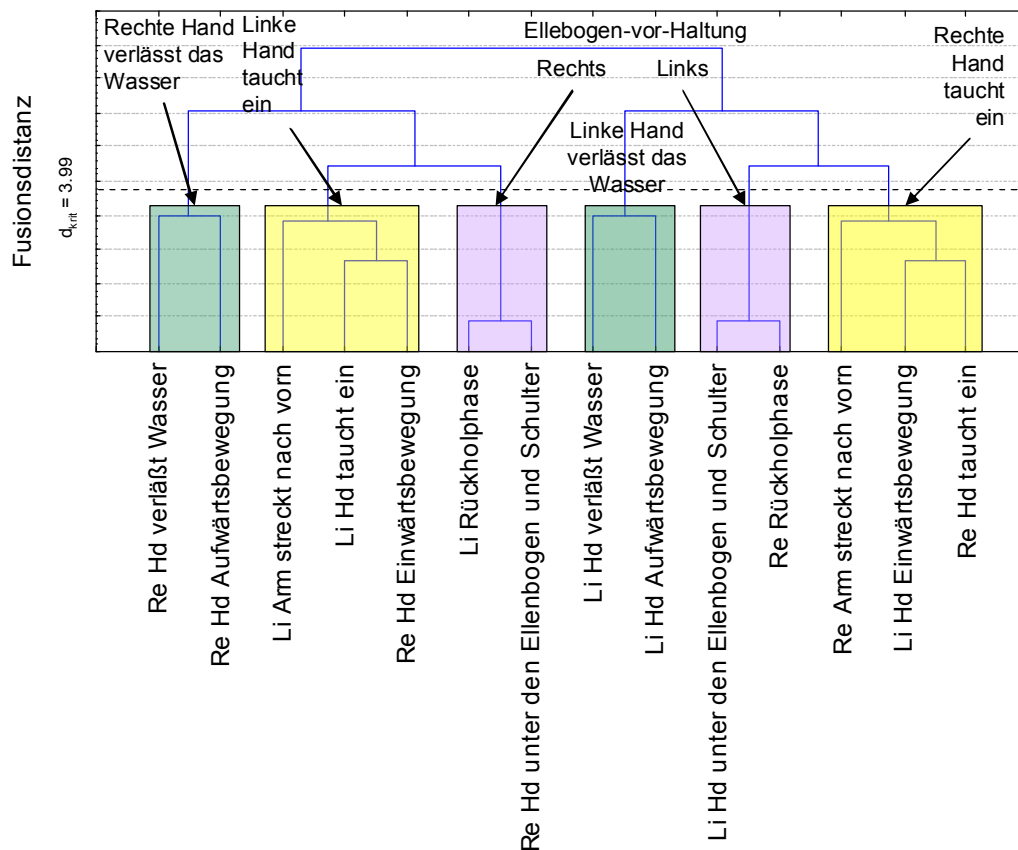


Abbildung 41 Eine Individuelle Clusterlösung (Vp22*) zu Ende des Schwimmkurses ($\alpha = 2.5\%$; $d_{krit} = 3.99$; gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie).

Eine Vergleichsgröße sollen die Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse eines Schwimmsportlers darstellen. In Abbildung 42 sind die Clusterlösung des Schwimmsportlers zu sehen. Es werden auch hier sechs Cluster gebildet. In allen Clustern stehen die Aktionen des rechten und linken Arms in einem funktionalen Zusammenhang. Es wird ein Cluster mit den BACs „Re Hd taucht ein“ und „Li Hd Einwärtsbewegung“ gebildet, die sich auf die eintauchende rechte Hand beziehen. Diese beiden Cluster finden sich genauso in der Referenzstruktur wieder. Ein weiterer Cluster für die eintauchende linke Hand wird mit den BACs „Li Hd taucht ein“ und „Re Hd Aufwärtsbewegung“ gebildet. Hier unterscheidet sich die Struktur des Schwimmers von der Referenzstruktur. Eine Kopplungsverschiebung zeigt sich. Zwei weitere Cluster werden gebildet, die sich auf die Ellenbogen-vor-Haltung beziehen. Ebenso wie bereits oben dargestellt, verschiebt sich auch hier die Kopplung der Bewegungen. Für die Ellenbogen-vor-Haltung rechts werden die BACs „Re Hd unter den

Ellenbogen und Schulter; Li Rückholphase“ und „Re Hd Einwärtsbewegung“ fusioniert. Die Einwärtsbewegung der rechten Hand ist hier im Sinne der Referenzstruktur nicht richtig zugeordnet. Dies bedeutet für die Chronologie der funktionalen Struktur, dass an diese Stelle eine zu schnelle Unterwasserbewegung der Hand durchgeführt wird, was wiederum zu einer unrhythmischen Bewegung führt. Die Ellenbogen-vor-Haltung links ist wiederum im Sinne der Referenzstruktur geordnet („Li Hd unter den Ellenbogen und Schulter; Re Rückholphase“). Der folgende Cluster spiegelt auch die Referenzstruktur. Im Bezug auf das Herausheben der linken Hand aus dem Wasser bilden die BACs „Li Hd verlässt Wasser; Re Arm streckt nach vorn“ und „Li Hd Aufwärtsbewegung“ die passende funktionale Struktur. Dem Cluster bezüglich des Heraushebens der rechten Hand aus dem Wasser fehlt das BAC „Re Hd Aufwärtsbewegung“. In diesem Cluster fusionieren die BACs „Re Hd verlässt Wasser“ und „Li Arm streckt nach vorn“.

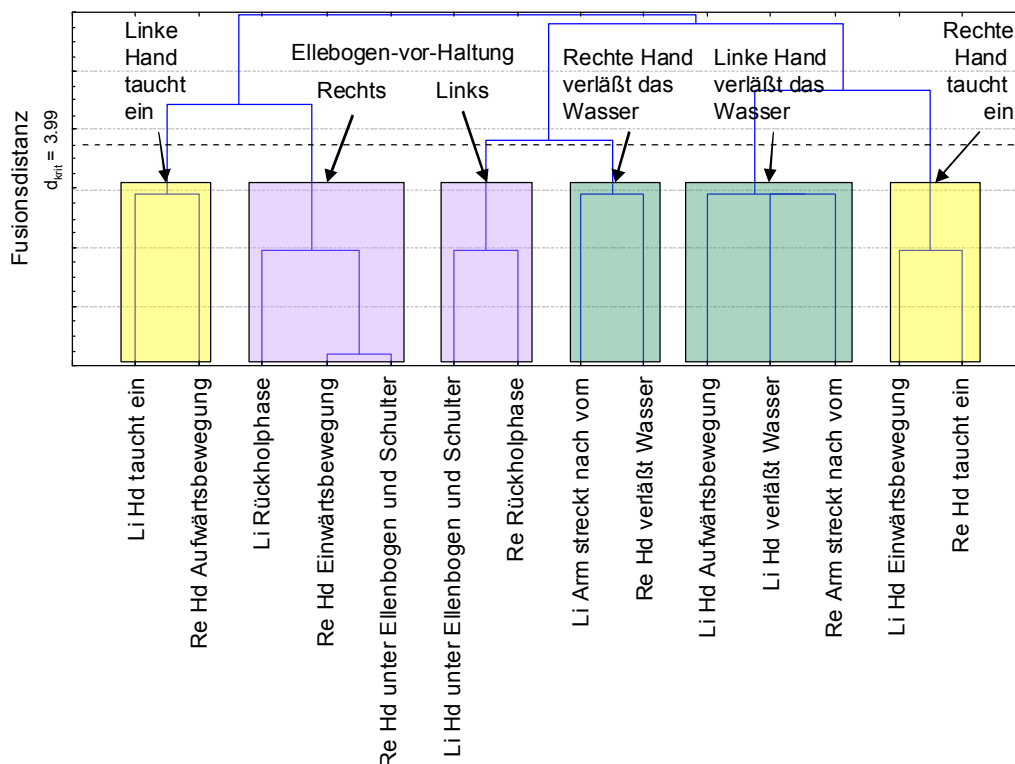


Abbildung 42 Die individuelle Clusterlösung eines aktiven Schwimmersportlers. Die Bestzeit des Aktiven liegt bei 50m Freistil bei 0:23,2 min. Es ist eine deutliche Clusterung zu erkennen, die eine leicht unrhythmische Bewegung vermuten lässt ($\alpha = 2.5\%$; $d_{krit} = 3.99$; gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie).

Zu Beginn des Kurses sprechen die individuellen Ergebnisse der Clusteranalyse von Vp 22 in ihrer Gesamtheit für eine eher unfunktionale Repräsentation des Bewegungsablaufes (vgl. Abbildung 40). Wie sich aus der Invarianzanalyse erkennen lässt, besteht kaum ein Bezug zu der Referenzstruktur ($\lambda = .56$). Es sind zwar schon Clusterbildungen nachweisbar, diese spiegeln aber dennoch nur eine fehlerhafte Bewegungskopplung des Rechten und Linken Arms wieder. So wird z.B. eine Repräsentation wiedergegeben, die sich auf eine einseitige 180° Phasenverschiebung bezieht: Re Hand taucht ein – Li Hand verlässt Wasser. Auf der anderen Seite wird die unrhythmische Bewegungsausführung verstärkt durch die Kopplung der *BACs* des Vorstreckens des linken Arms in Verbindung mit der Einwärtsbewegung der rechten Hand. Die hohen euklidischen Distanzen zeigen an, dass eine instabile Bewegungsrepräsentation vorliegt.

In dem abschließenden Post-Test lässt sich eine Veränderung feststellen. Die Bewegungsrepräsentation sowie die Bewegungsausführung verbesserten sich deutlich. Wie an der individuellen Clusterlösung abzulesen ist, hat die Vp 22 ihre Bewegungsrepräsentation in Richtung der Referenzstruktur verändert. In weiten Teilen gleicht die individuelle Clusterlösung der Referenzstruktur. Das ist sehr erstaunlich, da es sich bei der Vp um einen Studierenden handelt, der keine umfassendere Schwimmerfahrung aufweisen konnte. Über eine Invarianzanalyse konnte das Ergebnis bestätigt werden ($\lambda = .75$). Somit verändert die Vp ihre mentale Repräsentation durch gezielte, lernbasierte Intervention in Richtung eines Technikleitbildes (repräsentiert über die Referenzstruktur). Es scheint also wichtig zu sein, lernbasierte Interventionen so einzusetzen, dass eine gezielte Veränderung der mentalen Repräsentation stattfindet. Die Entwicklung eines Bewegungsrhythmus sticht dabei besonders ins Auge.

Die Ergebnisse dieser Einzelfallbetrachtung machen deutlich, dass eine Veränderung der mentalen Repräsentation durch lernbedingte Intervention möglich ist. Diese kann nach den aus der Literatur vorliegenden Ergebnissen auf unterschiedliche Art und Weise geschehen (Weinberg & Gould, 2003). Der Zeitraum über ein Semester war für die Vp ausreichend, eine strukturierte mentale Repräsentation der Kraularmbewegung herauszubilden.

Der Vergleich mit einem aktiven Schwimmsportler zeigt ein erstaunliches Ergebnis. So hat die Vp aus dem Personenkreis der Studierenden eine deutlich besser strukturierte mentale Repräsentation in Richtung der Referenzstruktur als der aktive Schwimmer. Ebenso sind sich die Strukturen der mentalen Repräsentationen vom Kraulschwimmen nicht ähnlich. Der

aktive Schwimmer hat dennoch eine recht stabile Bewegungsrepräsentation, was sich an den niedrigen Fusionsdistanzen (euklidische Distanzen) zeigt. Die mentale Repräsentationsstruktur deutet darauf hin, dass bei dem aktiven Schwimmer eine andere mentale Struktur vorhanden ist als a) die Referenzstruktur als Technikleitbild vorgibt und b) als der Sportstudierende am Ende des Schwimmkurses aufweist. Eine Begründung dieser fehlenden Bezüge liegt in der Tatsache, dass mit zunehmenden Trainingsalter eine fortlaufende Spezialisierung der Sportler stattfindet. Diese Spezialisierung findet nicht nur im Bezug auf die Hauptschwimmart (HSA) statt, sondern auch in Bezug auf die Wettkampfstrecke. So lässt sich über den aktiven Schwimmer sagen, dass er als Hauptstrecke die 50m Distanz für sich gewählt hat und mit einer Zeit von 0:23,2 min über 50m Freistil durchaus zu den Sprintern gezählt werden kann. Im Laufe der vielen Trainingsjahre schleifen sich meist unbemerkt Fehler in der Schwimmtechnik ein. Da der untersuchte Schwimmer schon viele Trainingsjahre aufzuweisen hat, haben sich auch bei ihm offensichtlich Fehler eingeschliffen, die zu einer unrythmischen Bewegung führen können. Dieser Fall zeigt, wie wichtig schwimmtechnische und sportpsychologische Interventionen auch oder gerade im Leistungssport sind (Annett, 1995).

5.4 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine differentielle Analyse zur mentalen Repräsentation der Kraularmbewegung und ihre lernbedingte Veränderung zu betrachten. Untersuchungsgegenstand war dabei die Veränderung der mentalen Repräsentation der Kraularmbewegung bei Studierenden, zu Beginn und nach einem absolvierten Schwimmkurs mit dem Inhalt Kraulschwimmen. Über einen mehrstufigen Extraktionsprozess wurden zunächst die Untersuchungseinheiten (BACs) heraus differenziert. Über ein Expertenrating wurde aus den Untersuchungseinheiten eine Referenzstruktur gebildet, die sich an dem gängigen Technikleitbild zur Kraularmbewegung orientierte.

An einer Stichprobe von 20 Studierenden und 15 Schwimmern konnte eine allgemeine und differenzielle Analyse durchgeführt werden. Dabei fand sich bei den Anfängern zu Beginn des Schwimmkurses keine gegliederte Struktur der mentalen Repräsentation, die eine funktionale Kopplung zulässt. Zur Referenzstruktur konnte keine Ähnlichkeit festgestellt werden. Nach lernbasierter Intervention über ein Studiensemester, mit dem Ziel der Verbesserung der Bewegungsausführung beim Kraulschwimmen, näherte sich die Struktur

der mentalen Repräsentation der Referenzstruktur an, so dass eine Ähnlichkeit zur Referenzstruktur tendenziell nachgewiesen werden konnte. Es ist wahrscheinlich, dass die Zeit für die lernbasierte Intervention zu kurz war um eine statistische Ähnlichkeit zur Referenzstruktur zu erreichen. Die Absolventen des Schwimmkurses wiesen, im Gegensatz zum Beginn des Semesters, am Ende des Studiensemesters eine funktionalere Struktur auf. Eine Besonderheit trat bei den Ergebnissen der untersuchten Gruppe der Schwimmer auf. Sie hatten statisch die größte Ähnlichkeit zur Referenzstruktur. Allerdings war die Struktur der Studierenden zu Beginn des Semesters der Struktur der Schwimmer ähnlicher als am Ende des Semesters. Besonderheiten der individuellen Entwicklung und Anforderungen im Leistungssport Schwimmen geben hier die Begründung für die Ergebnisse.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass lernbasierte Interventionen auf praktischer und mentaler Ebene Veränderungen hervorrufen. Besonders spezielles Wissen, wie z.B. die Kopplung von Körperteilbewegungen hin zu einer ökonomischen oder situationsangepassten Bewegungstechnik, wird bei einer lernbasierten Intervention von Schwimmanfänger mit einigen Grundlagen zum Fortgeschrittenen entwickelt.

Zur Eingliederung in einem größeren Rahmen bietet sich hier wiederum das Model der kognitiven Architektur an (Schack, 2002). So greift die lernbasierte Intervention auf der dritten Ebene von Schacks Modell an. Hier werden im LZG gezielte Veränderungen der Struktur und der Dimensionierung hervorgerufen. Durch eine angenommene Korrespondenz der Ebene der mentalen Repräsentationen und der Ebene der sensomotorischen Kontrolle sind auch Veränderungen der sensomotorischen Kopplung wahrscheinlich, welche sich in der späteren Bewegungsausführung manifestieren.

6 Untersuchung 3: Differentielle Analyse kortikaler Verarbeitung bei der Wahrnehmung unterschiedlicher Stimuli (allgemein vs. sportartspezifisch) im Oddball-Paradigma

6.1 Einleitung

Viele unserer Wissensbestände sind bewusstseinsfähig und das Resultat von Erkenntnisprozessen (Hoffmann, 1993). Auf ihnen finden vielfältige kognitive Operationen statt. Sie bieten die Basis für unser Verhalten und Handeln in der Welt (Hoffmann, 1993). So scheint es in einem sportwissenschaftlichen Zusammenhang angebracht zu sein, die kortikale Aktivierung bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Wissensbestände zu betrachten. In den vorangegangenen Experimenten konnte gezeigt werden, dass bewegungsbezogene Wissensbestände mit schwimmsportlichem Bezug strukturell geordnet repräsentiert sind, gezielt abgefragt werden können und durch lernbasierte Intervention veränderbar/verbesserbar sind. Auf die praktische sportwissenschaftlich-diagnostische Relevanz ist vorangehend schon eingegangen worden. Unter der Annahme, dass sich kortikale Aktivität, also auch kognitive Operationen, über psychophysiologische Maße darstellen lässt (Coles & Rugg, 1995) und dass sportliche Bewegung / Bewegungshandlung ein kortikales Korrelat im EEG besitzt (Jeannerod & Frak, 1999; Perani et al., 2001; Schumann, 1996), soll die folgende Untersuchung durchgeführt werden.

In der Betrachtung der Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen und der sich daraus ergebenden Fragen und der oben angesprochenen Problematik, stellt sich nun die Frage, welche kortikalen Reaktionen bei der Verarbeitung von bewegungsbezogenen Wissensbeständen hervorgerufen werden und wie sich dabei psychophysiologische Maße verhalten. Ebenso scheint in diesem Zusammenhang die Frage interessant, wie sich die Verarbeitung von allgemeinen Wissensbeständen und speziellen bewegungsbezogenen Wissensbeständen unterscheidet.

Wie bereits im Abschnitt 3.2.2 ausgeführt, ist die Ableitung hirnelektrischer Potentiale sowohl in der klinischen Diagnostik als auch in der experimentellen Hirnforschung ein Verfahren mit hoher Relevanz (Ebe & Homma, 2002; Hruby & Marsalek, 2003; Kischka et al., 1997; Neundörfer, 2002; Polich, 2004; Zschocke, 2002). Sie bietet die Möglichkeit, Einsicht in die hirnelektrischen Vorgänge zu nehmen. Neben der Analyse des Spontan EEGs

ist auch die Betrachtung ereigniskorrelierter Potentiale als hirnelektrische Korrelate von Reizverarbeitungsprozessen besonders interessant. Die Möglichkeit, mit einer hohen zeitlichen Auflösung über einen beliebig langen und frei wählbaren Zeitraum hirnelektrische Vorgänge zu betrachten, macht die Methode der elektroencephalografischen Ableitung und der daraus gewonnen EKPs in diesem Zusammenhang zu einer hoch brauchbaren Untersuchungsmethodik (z.B. Friederici, 2003, für die Sprachverarbeitung). Über sie kann ein Zugang zu kortikalen Informationsverarbeitungsprozessen gewährleistet werden. So konnte Friederici (1993) bei der Sprachverarbeitung eine späte Positivierung für die Verarbeitung von syntaktisch inkorrekten Sätzen finden.

Zentrale Aspekte der Informationsverarbeitung zeigen sich in der P3 Amplitude des EKPs (Polich, 2003). Eine erste Einsicht in die P3 konnte durch Sutton et al. (Sutton et al., 1965) gegeben werden. So spiegelt die P3 nicht mehr physikalische Parameter eines Reizes, sondern ist vielmehr eine Komponente aktiver kognitiver Auseinandersetzung mit dem Stimulus (Pritchard, 1981). Seitdem wurde die P3 in vielen Untersuchungen betrachtet und gehört zu einer der am häufigsten betrachteten Komponente der EKP-Forschung. Sie ist eine Positivierung, die mit einer Latenz von 300 bis 800 ms nach dem Reiz auftritt (Picton, 1992; Polich, 2003; Trimmel, 1990). Visuelle Reize lösen dabei eine bis zu 100ms längere Latenz aus, als es beispielsweise bei auditorischen Reizen der Fall ist (Polich, 1986, 2003). Die P3 kann als Indikator für die Verarbeitungszeit für einen Reiz angesehen werden (Trimmel, 1990). So konnte gezeigt werden, dass die P3 eine reizabhängige kognitive Antwort ist. Die P3 reagiert mit ihrer Amplitude sowie Latenz reizabhängig (Polich, 1986). Die P3 wird mit verschiedenen Prozessen in Verbindung gebracht. Dazu gehören Kategorisierungsaufgaben, Vergleich mit Gedächtnisinhalten und Entscheidungsaufgaben (Trimmel, 1990). Die Amplitude der P3 (oder P300 oder P3b), weist eine zentro-parietale Dominanz auf und wird bei Reizdiskriminierungs- und Kategorisierungsaufgaben deutlich (Picton, 1992).

Das Oddball- Paradigma gehört in diesem Zusammenhang zu den zuverlässigsten P3 auslösenden Paradigmen (Seifert, 2005). Im Zwei-Stimulus-Oddball Paradigma werden dabei zwei Reizkategorien mit unterschiedlicher Häufigkeit in zufälliger Reihenfolge den Vpn dargeboten. So wird bei der Darbietung seltener Reize eine Erhöhung der P3 erfolgen, sowie eine verlängerte Latenz, in Abhängigkeit von der Seltenheit des dargebotenen Reizes (Ducan-Johnson & Donchin, 1977, 1982). Viele Oddball-Paradigmen werden mit einer kognitiven Aufgabe versehen. Dazu gehört das Zählen der seltenen Reize oder der Tasten-Druck bei

seltenem oder häufigem Reiz. Über die Aufgabenstellung und die Präsentation der Reize in Verbindung mit einer gezielten systematischen Kombination lässt sich die Aufmerksamkeit im Oddball-Paradigma steuern.

Auf der Basis eines EEG-Experiments soll geprüft werden, welche Effekte bewegungsbezogene Reize auf die P300-Amplitude des ereigniskorrelierten Potentials bewirken und wie sich die Amplitude im Verhältnis zu allgemeinen Reizen verändert. Dazu werden folgend die näher definierten Hypothesen geprüft:

1. Es existiert ein Unterschied zwischen der Abfrage von allgemeinen Wissensbeständen und bewegungsbezogenen Wissensbeständen.
2. Es besteht einen Zusammenhang zwischen der Abfrage von bewegungsbezogenen Wissensbeständen und kortikaler Aktivierung.

6.2 Methode

6.2.1 Versuchspersonen

An der Untersuchung nahmen $n = 7$ Vpn teil. Bei den Vpn handelte es sich ausnahmslos um Studierende der Deutschen Sporthochschule Köln. Das Alter der Versuchspersonen lag bei $24(\pm 2)$ Jahren. Altersbedingte Veränderungen in der EKP Auswertung sind somit nicht zu erwarten. Im Altersgang verändert sich das Verhalten der EKP Komponenten (McDowell, Kerick, Santa Maria, & Hatfield, 2002). Die Vpn hatten den Studienfachbereich Schwimmen erfolgreich absolviert. So konnte sichergestellt werden, dass die Vpn bei der Durchführung der Experimente keine Schwierigkeiten hatten, das gezeigte Bildmaterial aus den Bereich des Schwimmens zu identifizieren. Des Weiteren hatten die Vpn ausreichend Bewegungserfahrung mit der betreffenden Gesamtbewegung des Delfinschwimmens. Die Studierenden stammten allesamt aus dem gleichen Schwimmkurs und hatten beim selben Dozenten Unterricht. So war es den Vpn möglich, die im Experiment gestellten Aufgaben zu erfüllen. Eine durch den Versuchsleiter jeweils im Einzelgespräch durchgeführte Vorabbesprechung konnte sicherstellen, dass die geforderten Ansprüche an die Vpn auch eingehalten werden konnten. Die Vpn wurden über den Ablauf des Experiments ausführlich informiert und konnten zu jedem beliebigen Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen den Versuch beenden. Eine Vergütung für die Teilnahme am Experiment wurde nicht gewährt.

Zur Untersuchungsdurchführung hatten sich die Vpn freiwillig gemeldet. Die Vpn bestätigten, dass bei ihnen keine neurologischen Auffälligkeiten bekannt seien. Des Weiteren traten die Vpn ausgeruht und ohne Schlafdefizite zu den Experimenten an. Ebenso waren alle Vpn angehalten, vor der Versuchsdurchführung keine aufputschenden Getränke (Kaffee, Cola, ...) zu zuführen. Um eine spätere Auswertung der EEG-Daten nicht zu erschweren, waren die Vpn aller Experimente Rechtshänder, deren Muttersprache Deutsch ist. Zwischen Rechts- und Linkshändern besteht häufig ein Unterschied in der Lokalisierung des Sprachzentrums (Jäncke, 2003). Alle Vpn durchliefen die gleichen experimentellen Bedingungen und nahmen an den gleichen Experimenten teil.

6.2.2 *Instrumentarien*

- Videokamera (zur Überwachung der Vp)
- Monitor (17-Zoll; TFT - Farbmonitor)
- Computer (P III™; zur Aufzeichnung der elektrophysiologischen Daten und Verhaltensdaten)
- Laptop (P III™ zur Stimuluspräsentation und weiteren Erfassung der Verhaltensdaten)
- Reaktionsbox (Eigenbau)
- Versuchssteuerung (Eigenbau)
- Elektrolyt – Paste (Elektro-Gel™, Firma Elektro – Cap International Inc., Eaton, USA)
- stumpfe Spritze (zur Verteilung der Elektrolyt – Paste in den Elektroden)
- chloridfreie Peelingpaste
- Elektrodenhaube (Firma Elektro – Cap International; Inc., Eaton, USA)
- Elektroden
- medizinischer Alkohol
- Interviewleitfaden
- Stimulusmaterialien

- allgemein (380 Items)
- speziell (380 Items)

6.2.3 Versuchsaufbau

Für die Durchführung des Versuchs stand als Versuchsraum das neurowissenschaftliche Labor des Instituts für Motorik und Bewegungstechnik zu Verfügung. Die Untersuchung wurde in einem gegen Schall und elektromagnetischer Strahlung abgeschirmten Raum durchgeführt. Als Untersuchungszeitraum wurden jeweils die Vormittagsstunden genutzt. Je Vp wurden mit Untersuchungsvor- und Nachbereitung ~ vier Stunden eingerechnet. Zur Itempräsentation wurde ein 17 Zoll TFT Farbmonitor bei schwarzem Hintergrund in einer Auflösung von 800 x 600 Punkten verwendet, der in dem gegen Schall und elektromagnetischer Strahlung abgeschirmten Raum stand (Ebe & Homma, 2002).

Der Sehabstand vom Auge der Vpn zum Monitor betrug 115cm. Die Reaktionen der Vpn wurden über zwei Drucktasten, die in einer 5cm hohen Box eingelassen waren und an der Armlehne des Untersuchungsstuhls befestigt war, erfasst (vgl. Abbildung 43).



Abbildung 43 Reaktionsbox mit der die Vpn die Antwort ja oder nein oder nah oder fern geben sollten. Die Reaktionsbox war störungsfrei an der Armlehne des Untersuchungsstuhls befestigt.

In Abbildung 44 wird der Versuchsaufbau für die Untersuchungen dargestellt. Über einen gesonderten Stimulusrechner (Pentium III™) wurde den Vpn das Stimulusmaterial präsentiert. Der Rechner konnte das Stimulusmaterial verlustfrei (ohne Störung durch das Aufzeichnen des EEGs) präsentieren. Weiterhin wurden durch diesen Rechner die

Reaktionszeiten aufgezeichnet. Ein zweiter Rechner zeichnete die elektrophysiologischen Daten ebenso wie die Reaktionen auf. Zusätzlich wurde zur besseren Überwachung der Versuchssituation ein Video mit aufgezeichnet. So konnte sichergestellt werden, dass Störungen (z.B. durch Bewegung der Vpn) nicht mit in die Auswertung flossen. Der Versuchsleiter startete das Experiment sowie die Aufzeichnung der Daten über ein Steuerelement, das mit beiden Computern verbunden war.

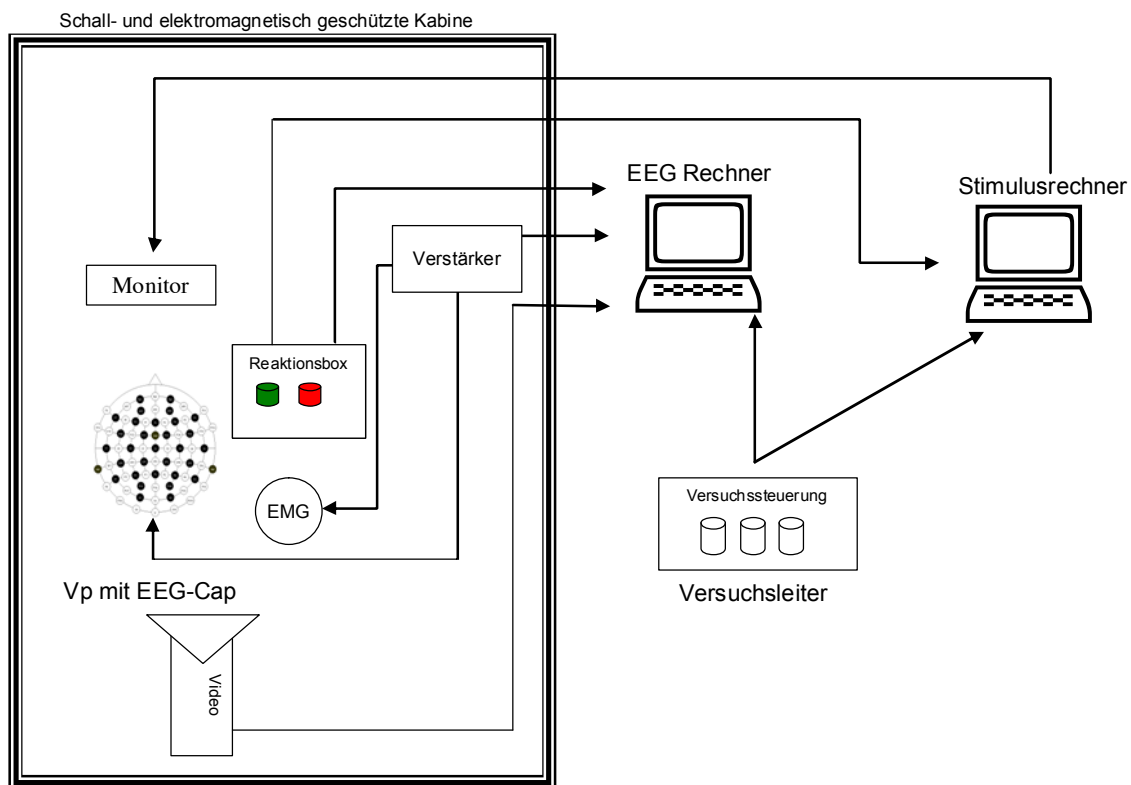


Abbildung 44 Versuchsaufbau für die Untersuchung. Die Versuchsteilnehmer saßen in einer schallgeschützten Kabine. Störgrößen wie Lärm oder elektromagnetische Strahlung beeinflussten nicht die Aufzeichnung der Versuchsdaten. Eine Detaildarstellung findet sich in den einzelnen Experimenten.

6.2.4 Versuchsablauf

Die Untersuchung fand im Frühjahr 2005 an der Deutschen Sporthochschule Köln statt. Nach der Begrüßung der Vpn durch den Versuchsleiter wurde das Ziel der Untersuchung den Anwesenden erklärt. Es wurde bewusst eine lockere und entspannte Atmosphäre geschaffen, um eine stressfreie Untersuchung durchführen zu können. Vor Beginn aller Untersuchungen

wurde über Befragung sichergestellt, dass die Vpn physisch sowie psychisch ausgeruht waren. Nach dem ausführlichen Vorgespräch und einer kurzen neurophysiologischen Anamnese gaben die Vpn eine Einverständniserklärung ab. Anschließend wurde die Elektrodenhaube wie folgend beschrieben angelegt.

Vorbereitung der Untersuchungen

In der dritten Untersuchung waren die Vorbereitungen wesentlich umfangreicher als in Untersuchung 1 & 2. Zunächst wurde sichergestellt, dass keine elektromagnetischen Störquellen die Aufzeichnung und spätere Auswertung der Ergebnisse beeinflussten (z.B. durch eingeschaltete Mobiltelefone). Die Vorbereitung der Vpn dauerte in der Regel 45 – 60min.

Während der Studien wurde ein Elektroencephalogramm (EEG) von 31 Elektroden, orientiert am 10-20 System (Jasper 1958), abgeleitet. Die Positionierung der Elektroden auf der Schädeloberfläche folgte einem Vorschlag der American Electroencephalographic Society (1991). Zur Sicherung der Datenlage wurde ein horizontales und vertikales Elektrookulogramm (HEOG und VEOG) mit vier weiteren Elektroden aufgezeichnet. Alle Ableitungen erfolgten gegen die verbundenen Ohrelektroden als Referenz. Als Masseelektrode diente die FCz –Elektrode. Die Elektroden waren in eine individuell anpassbare Elektrodenhaube der Firma Elektro – Cap International (Inc., Eaton, USA) eingebettet, die extra für die Studien angefertigt wurde (vgl. Abbildung 45 und Abbildung 49). Zur Verringerung des Übergangswiderstandes wurden die Elektroden mittels einer stumpfen Spritze mit Elektrolyt – Paste (Elektro-Gel™, Firma Elektro – Cap International Inc., Eaton, USA) gefüllt. Zuvor wurde die Haut mit einer chloridfreien Peelingpaste aufgeraut und noch einmal mit Alkohol gereinigt. Um einen einwandfreien Sitz der EEG-Kappe zu erreichen, wählte man jeweils den exakten Mittelpunkt der Strecken vom Nasion zum Ion sowie von den beiden präaurikulären Punkten. So lässt sich der genaue Sitz der Cz-Elektrode bestimmen. Die Kappe war durch einen Brustgurt, der mit Befestigungsriemen an den Ohrlaschen verbunden war, gegen Verrutschen gesichert. Die Versuchspersonen saßen aufrecht in bequemer Position vor dem TFT-Bildschirm (17“) und waren angehalten, sich so wenig wie möglich während der Untersuchung zu bewegen. Zusätzlich fand im abgedunkelten Raum eine Videoüberwachung zur Sicherheit der Vpn statt. Die Abtastrate bei der EEG Aufzeichnung lag bei 256/sec. Der Versuchsleiter versicherte sich vor jeder

Versuchsdurchführung über den ordnungsgemäßen Aufbau und der Funktionstüchtigkeit der Anlagen.



Abbildung 45 Versuchsperson in der Vorbereitung zur Untersuchung.

Innerhalb des Versuchsablaufs wurden den Versuchspersonen zwei Sets mit verschiedenen Stimulusmaterialien präsentiert. Die Sets waren dabei grundlegend nach dem Prinzip eines Oddball-Paradigmas aufgebaut. Jedes Set beinhaltete 380 Items (Onsetdauer 500 ms), denen jeweils ein Warnreiz für 500 ms in Form eines Kreuzes vorausging (vgl. Abbildung 46). Zwischen Warnreiz und Item bestand ein Interstimulusintervall (ISIS) von 500 ms (Leerbild/Schwarzer Bildschirm). Die Absicht des Warnreizes (Startreiz) war es, die Vpn auf den bevorstehenden Reiz einzustimmen.

Set 1 Oddball zu speziellen Wissensbeständen

Im ersten Set war die Verarbeitung von bewegungsbasierten Stimulusmaterial Hauptaugenmerk der Betrachtung. Die regelmäßigen häufigen Reize stellten Bilder von Schwimmerinnen und Schwimmern dar, die sich in den verschiedenen Wettkampfschwimmarten bewegten. Seltene Reize (Oddball) waren Bilder von der Rückholphase des Delfinschwimmens, die nicht bei den häufigen Reizen präsentiert wurden. In Abbildung 46a ist jeweils ein Trial aus den zwei Untersuchungssets dargestellt. Dabei ist der Stimulus jeweils der seltene Reiz (Rückholphase Delfin).

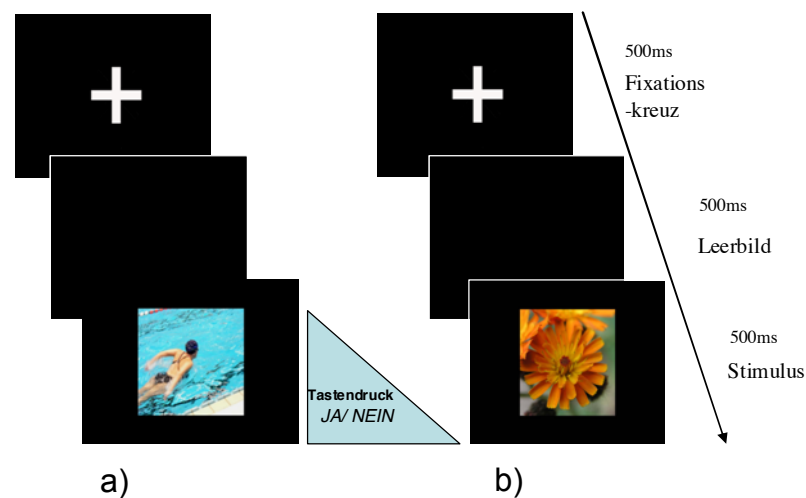


Abbildung 46 Schematische Darstellung der Reizpräsentation. Im ersten Set wurden die Stimuli mit dem Inhalt der bewegungsbezogenen Wissensbestände präsentiert (a). Im zweiten Set wurden die allgemeinen Wissensbestände präsentiert (b).

Die Darbietung der seltenen und der häufigen Stimuli erfolgte randomisiert und gleich verteilt über die einzelnen Stimulieinheiten (21% seltene / 79% häufige). Als kognitive Operation hatten die Vpn die Frage zu beantworten, ob es sich bei dem dargebotenen Bild um die Rückholphase beim Delfinschwimmen handelt, und sollten für „ja“ oder „nein“ mit dem linken Zeige- bzw. Mittelfinger die entsprechende Taste drücken (vgl. Abbildung 43). Somit konnte die Mitarbeit der Vpn sichergestellt werden. Erst nach der Entscheidung der Vpn wurde ein neues Item eingespielt. Die Instruktion, der die Vpn während des ersten Sets zu folgen hatten, lautete:

*„Ist in der Abbildung die Rückholphase des Delfinschwimmens zu erkennen? –
Antworte durch Tastendruck mit ja oder nein!“*

Stimulusmaterial Schwimmen

Die seltenen Stimuli wurden so ausgewählt, dass sie eindeutig zu identifizieren waren. Für das bewegungsbezogene Stimulusmaterial wurden Abbildungen der Rückholphase des Delfinschwimmens gewählt. Die Rückholphase des Delfinschwimmens ist sehr eindeutig. Beide Arme werden gleichzeitig über Wasser in Schwimmrichtung nach vorn gebracht, nach

dem die Hände neben den Oberschenkeln das Wasser verlassen haben (Cserépy et al., 2002; Maglischo, 2003; Wilke & Madsen, 1997). Dieser typische Bewegungsablauf tritt bei keiner anderen Schwimmart auf. Beim Kraul und Rückenschwimmen werden die Arme alternierend in der Rückholphase bewegt. Beim Brustschwimmen werden die Arme in der Rückholphase unter Wasser oder nur nah der Wasseroberfläche in Ausgangsposition geführt, aber auf keinen Fall über Wasser. Zudem endet die antriebswirksame Phase beim Brustschwimmen vor der Brust und führt dann direkt in die Rückholphase. Daher besteht hier eine Eindeutigkeit in der Unterscheidung dieser Bewegungsphase. Die Identifikation sollte somit keine Schwierigkeiten bereiten.

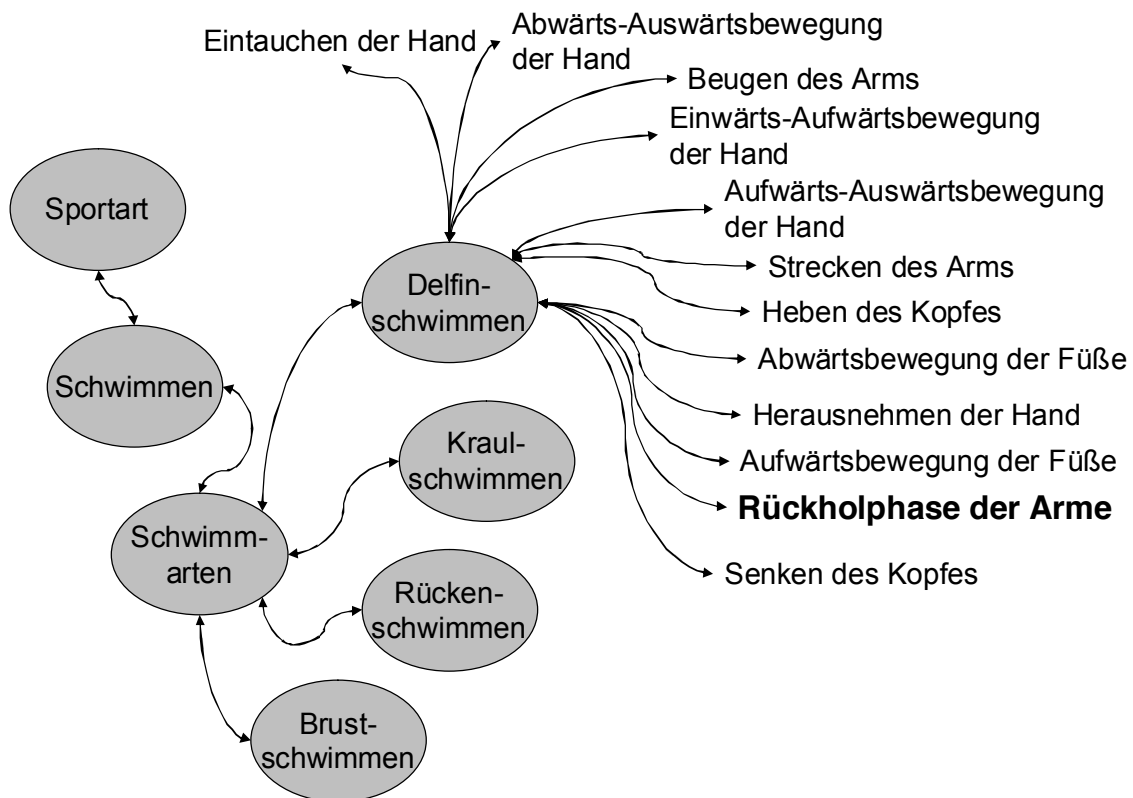


Abbildung 47 Mögliche Organisationsstruktur von Konzepten. Die Rückholphase des Delfinschwimmens gliedert sich in die Bewegungskonzepte der Schwimmart ein. In Untersuchung 1 wurden repräsentationale Annahmen zum Delfinschwimmen untersucht (vgl. Kapitel 4).

Set 2 Oddball zu allgemeinen Wissensbeständen

Im zweiten Set wurden der Vpn nach einer zehnminütigen Pause Bilder zu allgemeinen Wissensbeständen präsentiert (vgl. Abbildung 46b). Als Stimulusmaterial wurden Bilder aus der Flora (Pflanzenwelt) präsentiert.

Seltene Reize (Oddball) waren reale Bilder von Blüten. Dazu wurden die allgemein bekanntesten Formen ausgewählt: röhrig, keulig, glockig, trichterförmig, getrenntblättrig, krugförmig, lippenförmig, zungenförmig, rachenförmig, Schmetterlingsblüte und Orchideenblüte. Die Vpn sollten aus dem aus der Fauna ausgewähltes Stimulusmaterial diejenigen Bilder identifizieren, bei denen es sich um eine Blüte handelt. Dieses war wie im vorangegangenen Set mit Tastendruck (*ja* oder *nein*) zu bestätigen. Ebenso wie im vorangegangenen Set erfolgte die Stimuluspräsentation randomisiert. Die Instruktion, der die Vpn während des ersten Sets zu folgen hatten lautete:

„Ist in der Abbildung eine Blüte zu erkennen? – Antworte durch Tastendruck mit ja oder nein!“

Stimulusmaterial Flora

Eine Blüte zu identifizieren, gehört in unserem Kulturkreis zu den früh erworbenen Fertigkeiten. Die Blüte stellt ein klares Konzept dar, welches sofort erkannt werden kann. In Abbildung 48 sind einige typische Blütenformen dargestellt, deren reale Entsprechung den Vpn vorgelegt wurde. Alle Stimuli, die den Vpn in diesem Set vorgelegt wurden, sind durch ein Expertenrating auf Eindeutigkeit abgesichert worden. Ein anschließender Test mit Nichtbiologen kam zu dem gleichen Ergebnis. Die in Abbildung 48 dargestellten Blütenformen stellen insofern Prototypen von Blüten dar, die am sichersten erkannt werden. Im Test auf Erkennen wurden die realen Abbilder dieser Formen zu einhundert Prozent erkannt. Daher kann für die anstehende Untersuchung eine hohe Sicherheit für die Erkennensleistung angenommen werden.

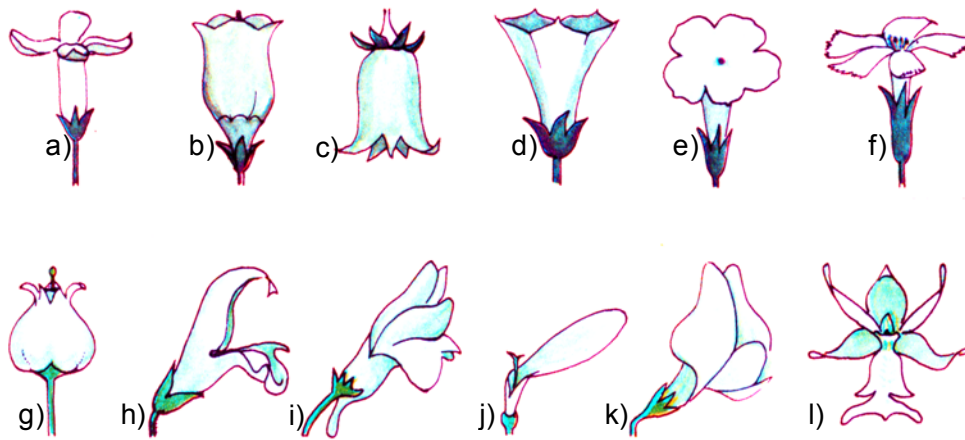


Abbildung 48 Die verschiedenen Prototypen einer Blüte (a) röhrig, (b) keulig, (c) glockig, (d) trichterförmig, (e) tellerförmig, (f) getrenntblättrig, (g) krugförmig, (h) lippenförmig, (i) rachenförmig, (j) zungenförmig, (k) Schmetterlingsblüte und (l) Orchideenblüte. Ausgehend von den Prototypen wurde das Stimulusmaterial ausgewählt. In dem betreffenden Set wurden nur eindeutige Bilder von Blüten gezeigt.

Alle Untersuchungssets waren grundlegend gleich aufgebaut, unterschieden sich aber im Stimulusmaterial. Das Stimulusmaterial wurde im Expertenrating auf seine Verwendbarkeit geprüft und für geeignet befunden. Bei der Auswahl des allgemeinen Stimulusmaterials waren Biologen der Universität Düsseldorf (Institut für Biochemie der Pflanzen) hilfreich. Die Eindeutigkeit der Stimulusmaterialien konnte so für dieses Set von wissenschaftlicher Seite bestätigt werden. Eine Überprüfung durch zufällig ausgewählte Studierende der Deutschen Sporthochschule ergab das gleiche Ergebnis. Die Auswahl des bewegungsbezogenen Stimulusmaterials erfolgt nach gleichem Muster. Zunächst wurde im Expertenrating die Eindeutigkeit des Stimulusmaterials festgelegt und anschließend durch Studierende der Deutschen Sporthochschule Köln ($n = 30$) bestätigt. Stimuli, bei denen Unsicherheit bestand wurden aussortiert. So konnte bei der Versuchsdurchführung Unsicherheiten vermieden werden.

Die Itempräsentation wurde von einer speziellen Software (Inquisit / Millisecond) über einen Stimulusrechner geleistet. Diese Software ermöglichte millisekundengenaues Präsentieren des

Stimulusmaterials. Vor jedem Set wurde der Vpn mitgeteilt, dass das Experiment startet, und mit einem Satz, der auf dem Bildschirm erschien, noch einmal die Aufgabe in Kürze erläutert, die es zu lösen galt. Der Sehabstand von Auge zu Montitor betrug 115cm.

Erfassung der elektrophysiologischen Daten

Die Präsentation des Stimulusmaterials orientiert sich am Oddball-Paradigma (vgl. Abschnitt 3.2.2) mit dem Ziel, auf einen kurz zuvor gezeigten Reiz eine Reaktion hervorzurufen (vgl. Abbildung 46). Es soll also eine kognitive Reaktion hervorrufen werden, bei der auf die entsprechenden Stimuli (regelmäßig vs. selten) unterschiedliche kortikale Reaktionen erfolgen. Die Mitarbeit der Vpn wird durch den nötigen Tastendruck sichergestellt. Dabei wurden die kortikalen Reaktionen über ein EEG abgeleitet (31 Elektroden, vgl. Abbildung 49). Bei der Auswertung wurde in diesem und im folgenden Experiment 9 Elektroden ausgewählt, die in die Auswertung flossen (Sänger, 2007). Sie repräsentieren jeweils die frontalen, zentralen und parietalen Areale.

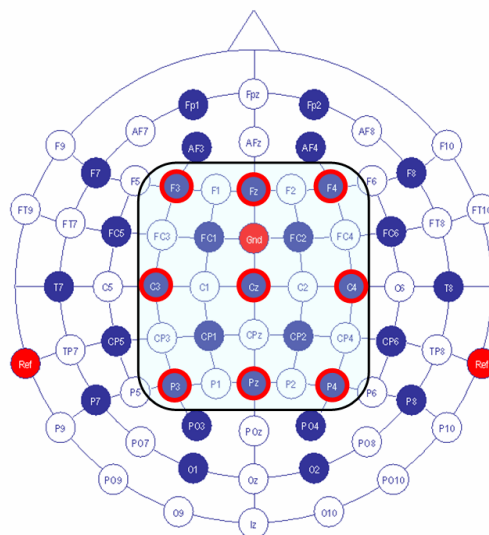


Abbildung 49 31-Elektrodenkappe mit einer Elektrodenverteilung, die am 10-20 System orientiert ist. Die neun Elektroden die in die Auswertung einfließen sind jeweils mit einem roten Ring markiert (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz und P4).

Zusätzlich zum EEG wurde auch ein Elektromyogramm (EMG) des *Musculus flexor carpi radialis* am linken Unterarmmuskel bipolar mit Ag/AgCl- Elektroden registriert. So war es

auch über das EMG möglich, bei erfolgtem Tastendruck mit der linken Hand die Reaktionszeiten der Vpn genau zu erfassen. Zur Unterdrückung des so genannten *Net-Brum* wurde das EEG mit einem 50 Hz Filter von Störungen aus dem Stromnetz gesäubert (Neundörfer, 2002). Zur Artefaktkontrolle wurde ein 8 Hz Highpass und ein 0,53 Hz Lowpass Filter eingesetzt (Sänger, persönliche Kommunikation, 25.11.2004). Eine Baseline-Korrektur sorgte für eine einheitliche Justierung der Grundlinie (Baseline) in jedem Segment. Zusätzlich wurde mit Hilfe des abgeleiteten VEOG und HEOG in der Auswertung eine Ocular Korrektur durchgeführt (Gratton et al., 1983).

Nach Artefaktbereinigung, Baselinekorrektur und Segmentierung wurde aus den EEG-Rohdaten Ereigniskorrelierte Potentiale für jede VP, jedes Versuchsset und jede Elektrode ermittelt. Diese Ereigniskorrelierten Potentiale wurden später über weitere Mittelungsprozesse zu Grand Averages für das Set mit dem allgemeinen Bildmaterial und das Set bewegungsbezogenen Bildmaterial gemittelt, jeweils getrennt für die Standard- und Oddballstimuli. Die Erfassung der EEG-Daten erfolgte über Napfelektroden, die in die EEG-Haube eingelassen waren (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die Aufzeichnung des EEG erfolgte mit einem Elektrodenwiderstand, der unter 5 k Ω lag (Thompson et al., 2008). Um Augenartefakte zu minimieren, sollten die Vpn nur nach erfolgter Antwort mit den Augen „zwinkern“. Kam es dennoch zu Störungen während und unmittelbar nach der Stimuluspräsentation, so wurde dieser Teil des Experiments verworfen. Ebenso wurden Antworten diskriminiert, die unter 100ms oder später als 2500ms nach Target Onset gegeben wurden.

Erfassung der Verhaltensdaten

Die Erfassung der Verhaltensdaten erfolgte mit Hilfe einer Reaktionsbox, die auf der linken Armlehne des Versuchsstuhls innerhalb der Untersuchungskabine angebracht war. Die Vpn hatte je dargebotenem Item für die Entscheidung „ja“ oder „nein“ eine Taste zu drücken. Jeder Tastendruck wurde registriert und dabei die Entscheidung der Vpn sowie die Reaktionszeiten aufgezeichnet. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mittels eines eigenen Programms, das Millisekunden genau Reaktionszeiten aufzeichnen kann. Ebenso wie bei der Erfassung der elektrophysiologischen Daten wurden Reaktionszeiten, so wie die Antworten „ja“ und „nein“ außerhalb des vorgesehenen Bereichs diskriminiert

6.3 Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend sollen die Ergebnisse der dritten Untersuchung dargestellt werden. Zunächst sollen die Ergebnisse der Reaktionszeiten erläutert werden. Anschließend werden die Ergebnisse der elektrophysiologischen Maße beleuchtet und diskutiert.

6.3.1 Reaktionszeiten

Bei der Betrachtung der Reaktionszeiten zeigt sich deutlich ein signifikanter Unterschied zwischen den Antworten „ja“ und „nein“ $F(1,8) = 105.01; p < .05$. Nach der Auswertung und Mittelung zeigt sich für das Set mit den allgemeinen Stimuli eine mittlere Reaktionszeit für die Antwort „ja“ von 571,25ms. Für die Antwort „nein“ zeigt sich eine mittlere Reaktionszeit von 434,50ms. Hier findet sich also eine Differenz zwischen den Reaktionszeiten von 136,75ms. Im Set mit dem bewegungsbezogenen Stimulusmaterial ließ sich für die Antwort „ja“ eine mittlere Reaktionszeit von 744,67ms ermitteln. Die Antwort „nein“ wurde in diesem Set im Mittel nach 565,33ms gegeben. Damit ergibt sich für das Set mit bewegungsbezogenen Stimulusmaterial eine Differenz in der Reaktionszeit für die Unterscheidung „ja“ und „nein“ von 179,33ms. In Abbildung 50 sind die Reaktionszeiten grafisch dargestellt. Für die Antwort „ja“ wird im Set mit dem allgemeinen Stimulusmaterial 174,42ms schneller geantwortet als im Set mit bewegungsbezogenen Stimulusmaterial. Ähnlich verhält sich das auch für die Antwort „nein“. Hier wird im Set mit den allgemeinen Stimulusmaterial 130,83ms schneller geantwortet, als im anderen Set.

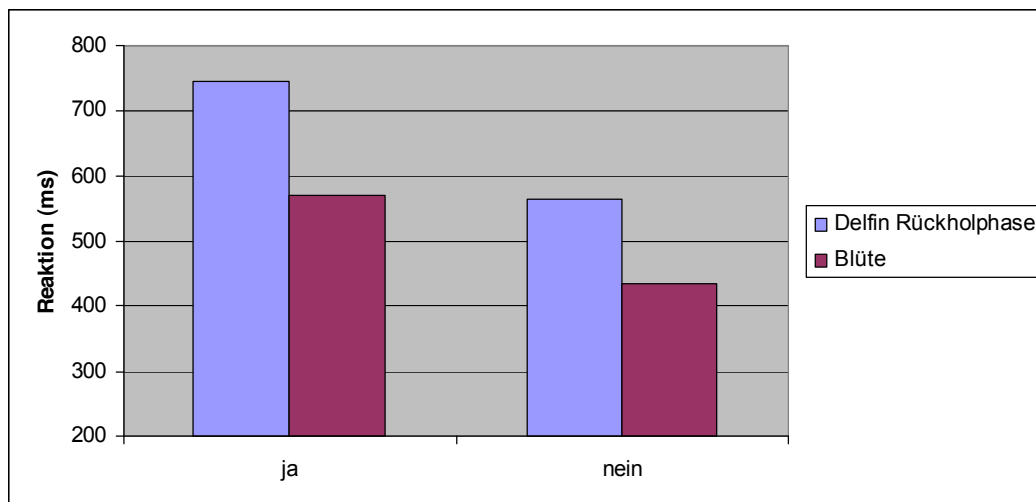


Abbildung 50 Mittlere Reaktionszeiten für das in den Sets verwendete allgemeine und bewegungsbezogene Stimulusmaterial.

Die Rückschlüsse aus diesen Ergebnissen liegen auf der Hand. Die Ergebnisse beider Sets lassen sich mit dem Symbol – Distanz Effekt in Verbindung bringen (DeRosa & Tkacz, 1976). Der Symbol – Distanz Effekt beschreibt einen Zusammenhang der Reaktionszeit und der ordinalen Interstimulidistanz. Die hier gefundenen Ergebnisse zeigen, dass in der Aufgabenstellung die Zuordnung der präsentierten Items für die Antwort „ja“ eine längere Zeit in Anspruch nimmt als für die Antwort „nein“ (vgl. Abbildung 50). So lässt sich in diesen Fällen festhalten, dass die ordinale Distanz zwischen den gezeigten Items und der durch die Aufgabe aufgerufene Repräsentation unterschiedlich ist. Für die seltenen Stimuli besteht eine geringe ordinale Distanz zu der durch die Frage aufgerufenen mentalen Repräsentation, was eine verlängerte Reaktionszeit zur Folge hat. Für die regelmäßigen Stimuli besteht eine größere ordinale Distanz, was eine kürzere Reaktionszeit als bei den seltenen Stimuli zur Folge hat. So lässt sich mit den Ergebnissen zeigen, dass die Reaktionszeiten auf einen Symbol – Distanz Effekt zwischen mentaler Repräsentation und real gezeigten Stimuli hinweisen.

Die verlängerten Reaktionszeiten für das Set mit dem bewegungsbasierten Stimulusmaterial ist die Folge der verlängerten Verarbeitungszeit. So könnte ein Abfrageprozedur wie in Abbildung 50 dargestellt eine längere Reaktionszeit hervorrufen. Es scheint, dass die Identifikation von Stimulusmaterial aus allgemeinen Wissensbeständen schneller zugänglich

ist als spezielle Wissensbestände. So scheint die konzeptionelle Anordnung der seltenen Stimuli sich zu unterscheiden. Das spezielle Wissen um die Rückholphase ist a) ein Wissensbereich, der nicht alltäglichen Gebrauch findet; b) eine spezielle Bewegungsphase aus einer Sportschwimmart und c) neben vielen anderen Bewegungsphasen existiert. Beim Konzept einer Blüte verhält sich das anders. Die Blüte ist ein häufig gebrauchtes Stilmittel, welches in unserem täglichen Leben ständig präsent ist. Sie ist daher in ihren verschiedensten Erscheinungsformen schnell identifizierbar. Wahrscheinlich wären die Reaktionszeiten im Set des allgemeinen Wissens ähnlich lang gewesen, hätte man Experten (Biologen) nach einer Blüte von einem Apfelbaum gefragt.

Es kann also an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Reaktionszeiten die Vermutung nahe legt, dass mit dem Expertisegrad die Komplexität der Verarbeitung von der Expertise betreffenden Stimulusmaterialien steigt. So wird im Folgenden die kortikale Reaktion auf die verschiedenen Stimuli in den Fokus der Betrachtung dieses Kapitels rücken.

6.3.2 Ereigniskorrelierte Potentiale – Der P3-Effekt im Oddball-Paradigma

Nach der Berechnung der EEG-Daten wurden die beiden Sets näher geprüft. Die EKP- average Parameter wurden anhand der Baseline 100ms vor dem ersten Stimulus quantifiziert. Als entscheidender Parameter wurde die P3 festgelegt (vgl. oben).

Zur näheren Betrachtung wurden jeweils die zuzuordnenden Items nach ihrer Zuordnung differenziert. Es erfolgte dabei eine Unterscheidung nach selten Stimuli und häufigen Stimuli für die jeweiligen Versuchssets.

Zunächst wurde eine Sichtprüfung der EKPs im Grand Average über alle Vpn für die Elektroden F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz und P4 durchgeführt (vgl. Abbildung 51, Abbildung 52, Abbildung 53). In Abbildung 51 werden die gemittelten Daten des Zeitbereichs von -100ms vor, bis 1000ms nach Stimulus Onset für das bewegungsbezogene Stimulusmaterial dargestellt. Dabei wurden die Standardstimuli (häufig) gegen den Oddball (selten) abgebildet. Die Auswahl der Elektroden erfolgte nach der in der EKP Forschung üblichen Weise (z.B. Sänger, 2007). Somit war es möglich, eine erste Eingrenzung des Zeitbereiches vorzunehmen, in dem signifikante Unterschiede zu vermuten waren.

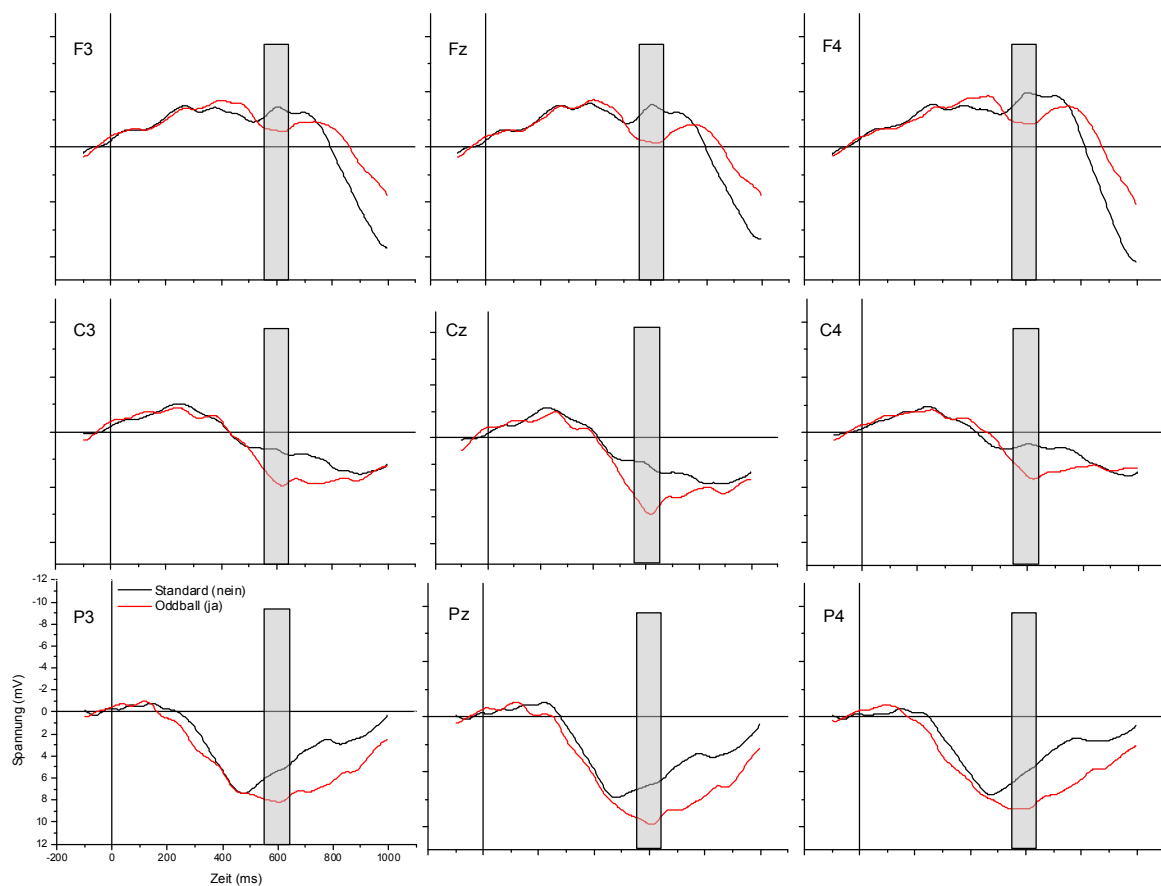


Abbildung 51 Grand-average Stimulus für das bewegungsbezogene Bildmaterial an den Elektroden F3; Fz; F4; C3; Cz; C4; P3; Pz und P4. Dargestellt ist der Zeitbereich von -100 bis 1000ms. Die Präsentation des Items erfolgte in der Zeitspanne von 0ms bis 500ms. Der grau unterlegte Zeitbereich (550ms bis 650ms) ist der Bereich, in dem sich die deutlichsten Effekte fanden und der einer besonderen Prüfung unterzogen wurde.

In Abbildung 52 finden sich die gemittelten Daten für das allgemeine Stimulusmaterial. Die Darstellung erfolgt wie zuvor in Abbildung 51. Auch hier wurden die seltenen Stimuli (Oddball), bei denen die Vpn mit „ja“ zu antworten hatten, gegen die häufigen Stimuli (Standard) gestellt, bei denen die Vpn mit „nein“ zu antworten hatten.

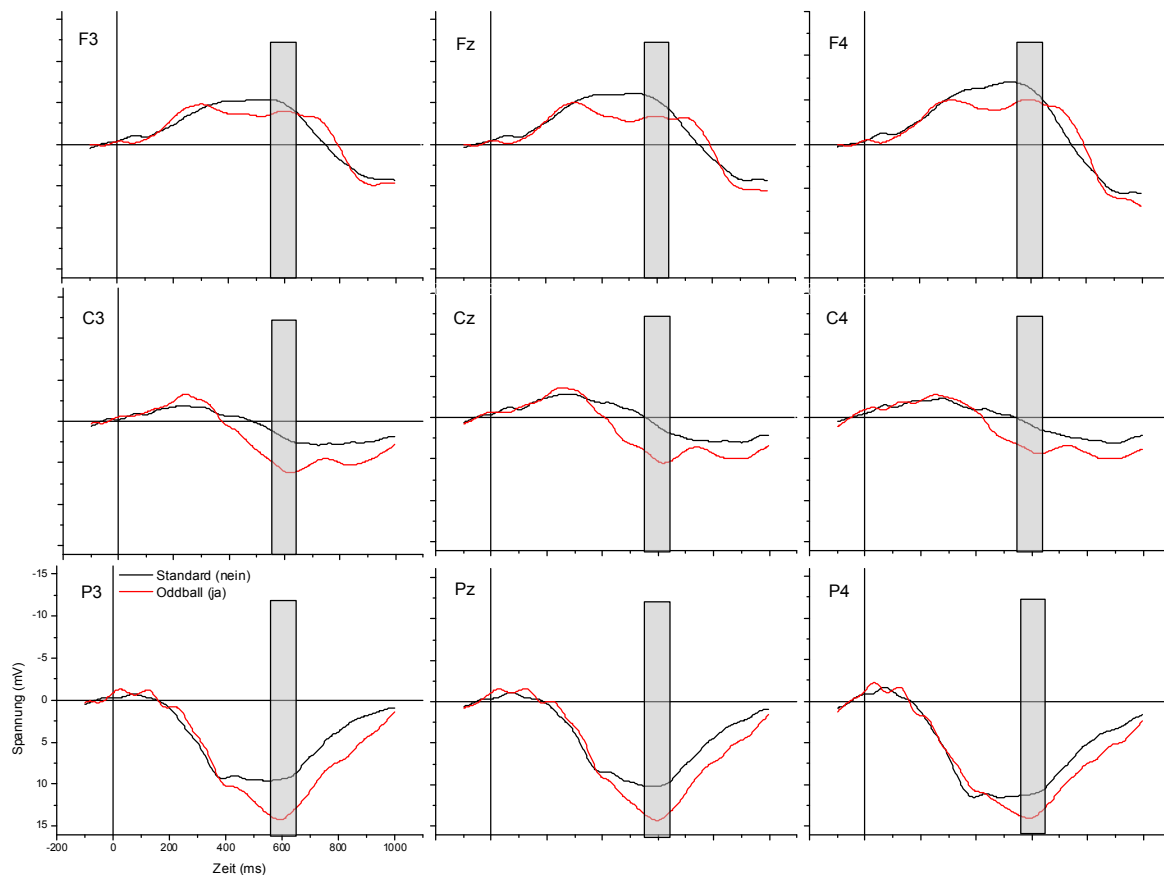


Abbildung 52 Grand-average Stimulus bezogen für das allgemeine Bildmaterial an den Elektroden F3; Fz; F4; C3; Cz; C4; P3; Pz und P4. Dargestellt ist der Zeitbereich von -100 bis 1000ms. Die Präsentation des Items erfolgte in der Zeitspanne von 0ms bis 500ms. Der grau unterlegte Zeitbereich (550ms bis 650ms) ist der Bereich, in dem sich die deutlichsten Effekte fanden und der einer besonderen Prüfung unterzogen wurde.

In Abbildung 53 sind die Grand Averages der neun in die Auswertung eingeflossenen Elektroden für das Bildmaterial dargestellt. Für den grau unterlegten Zeitbereich wird der stärkste Effekt (P3) vermutet. In der Darstellung wurde ein Zeitbereich von -100ms bis 1000ms gewählt, der auf der Abszisse abgetragen wurde. Auf der Ordinate sind die Spannungswerte von -15 μ V bis 15 μ V abgetragen.

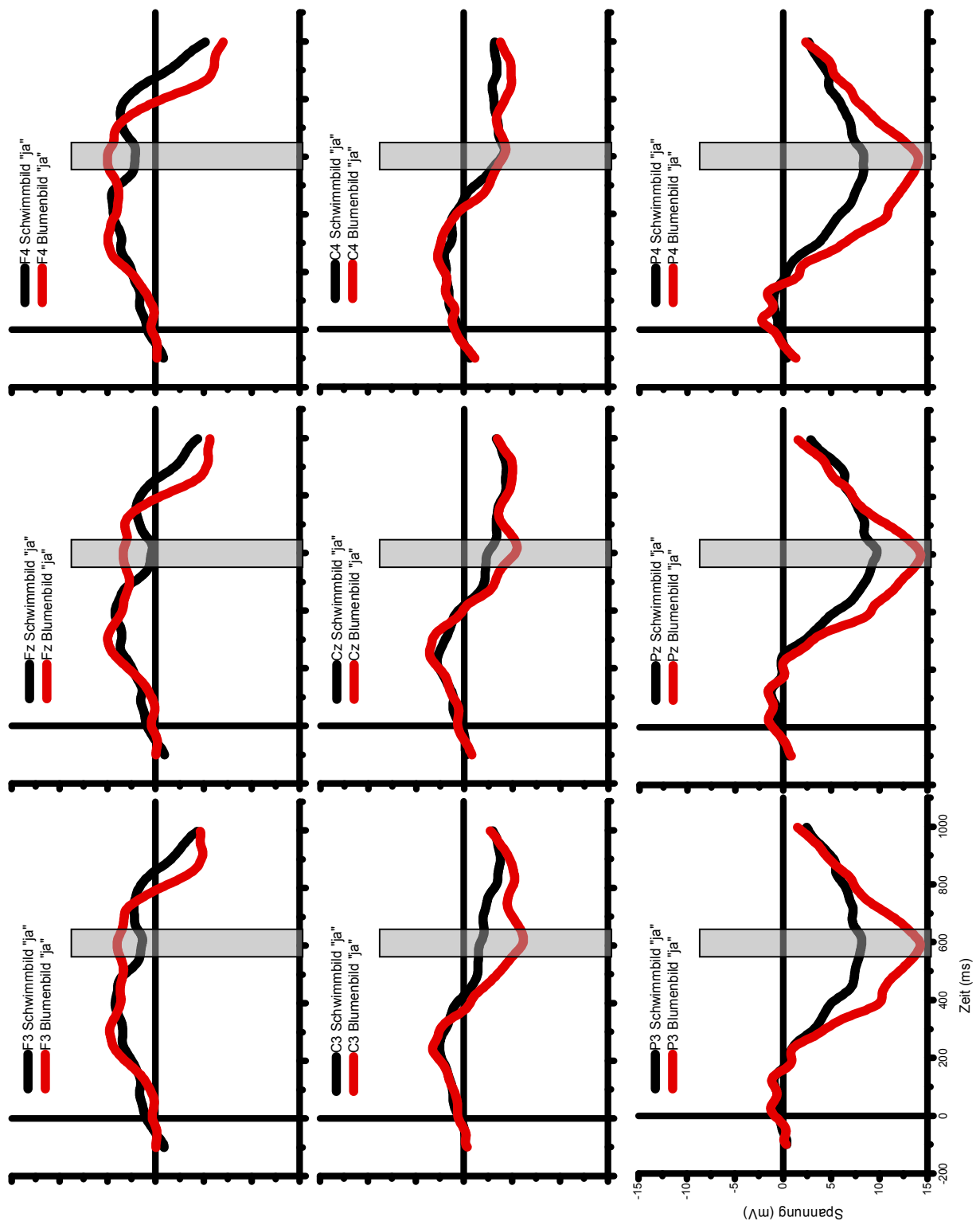


Abbildung 53 Grand-average Stimulus bezogen für das Bildmaterial an den Elektroden F3; Fz; F4; C3; Cz; C4; P3; Pz und P4. Dargestellt ist der Zeitbereich von -100 bis 1000ms. Die Präsentation des Items erfolgte in der Zeitspanne von 0ms bis 500ms. Der grau unterlegte Zeitbereich (550ms bis 650ms) ist der Bereich, in dem sich die deutlichsten Effekte fanden und der einer besonderen Prüfung unterzogen wurde.

Auf der Suche nach einem möglichen Effekt wurde der aufgezeichnete Bereich nach Itemrepräsentation (von 300ms bis 1000ms) über 700ms nochmals mittels statistischer Analyse (messwiederholter ANOVA; Zeitbereiche x Antwortverhalten) betrachtet. Dabei ließ sich eine Hauptaktivität für den P3 in einem Bereich von 550ms bis 650ms festlegen.

Um eine zusätzliche Eingrenzung des auftretenden Effekts zu leisten, wurde zu der Betrachtung das Differenz-Map für den Zeitbereich von 550ms bis 650ms hinzugezogen. In Abbildung 54 ist eine Differenzkarte mit einem zentro-parietalen Effekt abgebildet.

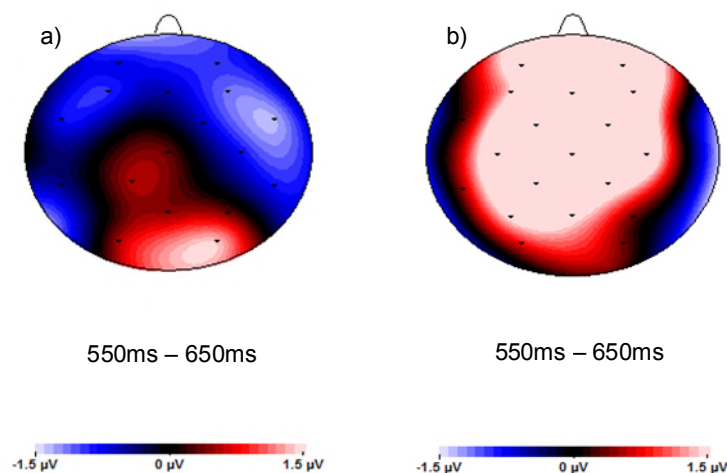


Abbildung 54 Differenz-Map des relevanten Effekts im Zeitbereich von 550ms bis 650ms. Im zentroparietalen linkshemisphärisch orientierten Bereich zeigt sich eine deutliche Positivierung. a) ist die Differenzmap für das bewegungsbezogene Stimulusmaterial. b) ist das Differenzmap für das allgemeine Stimulusmaterial.

Anschließend wurden der Mittelwert des Zeitbereiches (Zeitfenster) einer messwiederholten ANOVA (2x2x3x3) unterzogen. Als abhängige Variablen wurden dabei Stimulusmaterial (allgemeines und bewegungsbezogenes), Antwortverhalten (ja und nein), Kaudalität (anterior, zentral und posterior) sowie Lateralität (rechts, mitte und links) herangezogen.

Zwischen den präsentierten Stimulusmaterialien findet sich in der 2x2x3x3 ANOVA kein signifikanter Unterschied. Sehr wohl konnte aber in der Analyse der einzelnen Elektroden ein

Effekt gefunden werden [Elektrode P4 für das Bildmaterial $F(1,6) = 6.33$; $p = .045$; für Antwortverhalten $F(1,6) = 9.95$; $p = .019$].

Ein Haupteffekt konnte für das Antwortverhalten festgestellt werden [$F(1, 6) = 38.75$; $p < .05$]. Die Analyse der Kaudalität und Lateralität führte ebenfalls zu einem erfolgreichen Nachweis eines Haupteffektes [Kaudalität $F(2,12) = 28.81$; $p < .05$ / Lateralität $F(2,12) = 7.48$; $p < .05$]. Interaktionseffekte konnten zwischen Antwortverhalten und präsentiertem Stimulusmaterial nicht gefunden werden. So scheint die Entscheidungsfindung für allgemeine und bewegungsspezifische Wissensbestände als Prozess kein unterschiedliches Korrelat im EEG darzustellen. (Konzeptual Closure) Allerdings konnten Interaktionseffekte zwischen Lateralität und Antwortverhalten gefunden werden [$F(2,12) = 4.44$; $p = .036$]. Ein weiterer wichtiger Interaktionseffekt fand sich zwischen Bildmaterial, Kaudalität und Lateralität [$F(4,24) = 3.17$; $p = .031$].

Über eine anschließende $2 \times 2 \times 3$ ANOVA (Stimulusmaterial, Antwortverhalten und Elektroden recht/mitte/links) für die Kaudalität konnte eine Analyse der frontalen, zentralen und parietalen Prozesse nähere Einsicht in die ablaufenden Prozesse liefern. So findet sich frontal nur ein Haupteffekt für die Elektrodenposition [$F(2,12) = 15.30$; $p < .05$]. Zentral findet sich ein Haupteffekt für das Antwortverhalten [$F(1,6) = 25.67$; $p < .05$] und Elektrodenposition [$F(2,12) = 10.88$; $p < .05$]. Ein Interaktionseffekt zwischen Stimulusmaterial und Elektrodenposition belegt, dass die Verarbeitung unterschiedliche Aktivierungen hervorruft [$F(2,12) = 9.24$; $p < .003$]. Ein weiterer Interaktionseffekt findet sich zwischen dem Antwortverhalten und Elektrodenposition [$F(2,12) = 5.29$; $p < .022$]. So scheint je nach präsentiertem Stimulus im zentralen Bereich eine signifikant unterschiedliche Aktivierung stattzufinden. Die Elektroden im zentralen Bereich werden mit dem primären motorischen Areal in Verbindung gebracht (Mechau, 2001). Dieser Bereich ist der bei der Ausführung motorischer Handlungen involviert. Parietal findet sich ein Haupteffekt für das Antwortverhalten [$F(1,6) = 22.39$; $p < .05$].

So wie sich die Ergebnisse hier darstellen, können die aufgestellten Hypothesen mit Einschränkung bestätigt werden. Sehr eingeschränkt findet sich ein Haupteffekt zwischen dem verwendeten Bildmaterial. Der Unterschied bei der Verarbeitung von allgemeinen und bewegungsbezogenen Stimuli ist nur teilweise nachweisbar. An der Elektrode P4 ist ein signifikanter Unterschied zu erkennen. Die Ableitungen dieser Elektrode liegen im hinteren Bereich des Scheitellappens (Parietallappen). Dieser Hirnbereich wird mit komplexer Raum- und Bewegungsorientierung assoziiert. Eine Begründung für dieses schwache Ergebnis wäre,

das sich das Oddball-Paradigma zwar gut dazu eignet, einen Ausreißer in einer Reihe von Stimuli zu erfassen, es aber den inhaltsspezifischen Vergleich nur schwer leisten kann. Eine größere Gruppe von Vp könnte ein klareres Bild ergeben. Eine Unterscheidung des Antwortverhaltens findet sich recht deutlich, was die oben getätigte Aussage nur unterstreicht. Somit lässt sich aus den Ergebnissen schließen, dass das verwendete Stimulusmaterial einen deutlichen Effekt in der Unterscheidung des Antwortverhaltens auslöst. Die Eingangs aufgestellte Vermutung, dass sich kein Unterschied zwischen den verwendeten Materialien besteht, kann in der näheren Betrachtung zurückgewiesen werden.

Es lässt sich somit schlussfolgern, dass bei der Verarbeitung der Stimulusmaterialien unterschiedliche kortikale Prozesse ablaufen. Dies erscheint in diesem Zusammenhang auch plausibel, da kategoriales Stimulusmaterial unterschiedliche Aktivierung auslöst (z.B. Friederici, 2003, am Beispiel Sprachverarbeitung). So werden die vorliegenden Ergebnisse von Dehaene (1996) untermauert, der unterschiedliche kortikale Aktivierungen beim Kategorisieren von Verben, Eigennamen, Tiernamen oder Zahlen herausstellt.

6.4 Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war es, die kortikalen Vorgänge während der Evaluation von bewegungsbezogenen Stimulusmaterial zu betrachten. Dazu wurde Stimulusmaterial mit Hilfe von Experten (Dozenten der Universität Düsseldorf / Deutsche Sporthochschule Köln) zu allgemeinen Wissensbeständen (Flora der heimischen Natur) und speziellen, bewegungsbezogenen Wissensbeständen (schwimmsportliche Bewegungen) gewonnen. In zwei Experimenten wurden die physiologischen Maße zu den verschiedenen Stimulusgruppen ermittelt und anschließend miteinander verglichen.

So war es möglich, mit den Ergebnissen der Reaktionszeitmessung in beiden Experimenten einen Symboldistanz-Effekt nachzuweisen. Die abgeleiteten Gehirnströme gaben einen P3 Effekt für beide Experimente wieder. Ein Unterschied fand sich bei der Verarbeitung der Stimulusmaterialien an der P4 Elektrode. Das bedeutet, dass bei der Verarbeitung von kategorial unterschiedlichen Stimulusmaterialien eine Unterscheidung bezüglich der Aktivierung der an der Verarbeitung beteiligten Areale zu treffen ist. Die gemessene Spannungsveränderungen an der P4 Elektrode kann mit einer Aktivität im hinteren Bereich des Scheitellappens, der bei komplexer Raum- und Bewegungsorientierung aktiv ist, assoziiert werden (Mechau, 2001).

Eine Eingliederung der Ergebnisse in Schacks Model der kognitiven Architektur soll auch hier erfolgen. Dabei wird im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen nicht nur die dritte Ebene der Speicherung der Struktur und Dimensionierung mentaler Repräsentation fokussiert, sondern, wie die oben aufgeführten Ergebnisse zeigen, auch die zweite Ebene, die Ebene der sensomotorischen Repräsentation. Sportartspezifische Stimulusmaterialien, welche spezifische mentale Repräsentationen antriggern, greifen auf funktionale sensomotorische Repräsentationen zurück, welche mit den genannten mentalen Repräsentationen funktional in Verbindung stehen. Die oben gefundenen Ergebnisse werden von neueren fMRI und PET Studien gestützt (Decety, 1995; Decety & Grezes, 2006; Jackson & Decety, 2004; Ruby & Decety, 2001).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Oddball-Paradigma bewegungsbezogene von allgemeinen Stimulusmaterialien unterschieden werden können. Somit ist eine Abgrenzung der Wissensbestände voneinander möglich. Darum soll in der Konsequenz der vorliegenden Untersuchung in der folgenden Untersuchung im Splitparadigma unterschiedliche Stimulusmaterialien getestet werden, die das gleiche bezeichnen (begrifflich vs. bildlich).

7 Untersuchung 4: Zusammenhänge kortikaler Verarbeitung und der Struktur mentaler Repräsentationen

7.1 Einleitung

Die vorangegangene Studie hatte das Ziel, die kortikalen Aktivierungen bei der Verarbeitung von einfachen bewegungsbezogenen und allgemeinen Wissensbeständen näher zu betrachten. In der Studie ließ sich ein Bezug zwischen der elektrophysiologischen Aktivierung und der Verarbeitung von bewegungsbezogenen Wissensbeständen in Abgrenzung von allgemeinen Wissensbeständen herstellen. Es konnte gezeigt werden, dass signifikante Unterschiede bei der Abfrage von allgemeinen Wissensbeständen und bewegungsbezogenen Wissensbeständen existieren. Dies deutet darauf hin, dass Sportler bei der Aktivierung und Verarbeitung bewegungsbezogener Wissensbestände kortikale Areale in unterschiedlicher Art aktivieren als bei der Verarbeitung allgemeiner Wissensbestände. Die nun folgende vierte Studie baut auf der vorangegangenen Untersuchung auf. Konkret wird dabei gefragt, in wieweit die Aktivierung und Verarbeitung sportartspezifischer Wissensbestände von der Art des Stimulusmaterials abhängt. Unterschiedliches Stimulusmaterial mit gleichem Inhalt könnte aufgrund einer veränderten Codierung und eines veränderten Abrufs zu anderen kortikalen Aktivierungen führen. Diese Fragestellung soll mit der vorliegenden Untersuchung überprüft werden. Dabei soll die SDA-M als experimenteller Ansatz zusammen mit der Elektroencephalographie die methodische Basis der Untersuchung darstellen (vgl. Abbildung 55). Die unten dargestellte Abbildung zeigt die einzelnen Untersuchungstools, die in der Untersuchung zusammengeführt wurden. Dargestellt ist eine Situation aus einem der zahlreichen Vorversuche, die der Untersuchung zugrunde gelegt wurden. Dabei war entscheidend, einen rückwirkungsfreien Versuchsaufbau und Versuchsablauf zu entwickeln.



Abbildung 55 Versuchsaufbau der Methode, wie sie erstmals in einem Vorversuch verwendet wurden. In der relevanten Untersuchung hatte die Vp nur noch den Monitor zur Stimuluspräsentation und eine Reaktionsbox vor sich (vgl. Abbildung 43).

Kortikale Korrelate

Wie bereits in der vorangegangenen Studie soll auch in dieser Studie Einsicht in die hirnelektrischen Vorgänge genommen werden (vgl. Abschnitt 6.1). Dabei scheint besonders auch das Splitparadigma als zusätzliches Untersuchungstool geeignet zu sein, da sich mit dieser Methode unabhängig vom verwendeten Stimulusmaterial mentale Strukturen abbilden lassen. Das EEG, vielmehr das daraus gewonnene EKP, soll helfen die kortikalen Vorgänge näher in Augenschein zu nehmen. So lässt sich bei Aufgaben, die einen Vergleich zweier Reize mit anschließender Entscheidung beinhalten, auf den zweiten Reiz eine P300-Komponente beobachten (Campanella et al., 2002). Daher wird hier die Betrachtung der kortikalen Reaktion auf den Target im Splitparadigma besonders interessant sein.

Mentale Struktur

Das Splitparadigma, welches der SDA-M zu Grunde liegt, zählt zu den sukzessiven Aufteilverfahren (vgl. Abschnitt 3.2.1). Der valide und reliable Einsatz der SDA-M wurde schon in zahlreichen Untersuchungen dargestellt (z.B. Heinen, 2005; Schack, 1999b; Schack & Heinen, 2000, 2002; Schack, Heinen et al., 2001). In diesen Untersuchungen konnte unter anderem ein Expertiseeffekt festgestellt werden, der sich in einer klaren strukturellen Ausrichtung mentaler Repräsentationen manifestiert. Bei der Erfassung der mentalen Repräsentation wird in der vorliegenden Studie auf eine erweiterte, computergestützte Form der SDA-M (Schack, Kneehans, & Lander, 2001) zurück gegriffen. Dieses Verfahren bietet

die Möglichkeit, mentale Strukturen differentiell zu erfassen. Interindividuelle Unterschiede können anhand eines speziellen Invarianzmaßes bestimmt werden (vgl. Abschnitt 3.2.1). Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Versuchspersonen keine expliziten Aussagen zu ihren kognitiven Bewegungsrepräsentationen, etwa in Form von mündlichen oder schriftlichen Selbst-Reportagen geben müssen (Schack, 2002). Ein weiterer Vorteil der computergestützten SDA-M ist, dass sich mit gegebener Antwort auch die entsprechenden Reaktionszeiten erfassen lassen. Unterschiedlich auftretende Reaktionszeiten lassen wiederum Rückschlüsse auf mögliche differentielle Effekte zu, wie auf den Symbol-Distanzeffekt (DeRosa & Tkacz, 1976). Es werden verschiedene Stimulusmaterialien verwendet. Auf der einen Seite wird die SDA-M mit begrifflichem Stimulusmaterial (Wortmarken) und bildlichem Stimulusmaterial (Bildmarken) verwendet.

Als experimentelle Aufgabe wird in vorliegender Studie das Delphinschwimmen gewählt. Dabei handelt es sich um eine komplexe Schwimmtechnik (vgl. Kapitel 4). Folgerichtig lässt sich an der Armbewegung des Delfinschwimmens und an der Struktur ihrer verschiedenen Phasen durchaus auch der Expertisegrad des Schwimmers ablesen. So wird in der folgenden Untersuchung die Armbewegung dieser Schwimmtechnik Hauptbetrachtungsmerkmal sein. Die Armbewegung lässt sich leicht in verschiedene Phasen unterteilen (Maglisco, 2003). Grundsätzlich lassen sich dabei zwei voneinander zu unterscheidende Phasen erkennen. Auf der einen Seite Bewegungen, die Überwasser stattfinden und auf der anderen Seite Bewegungen, die Unterwasser durchgeführt werden. Diese Form der Unterscheidung ist im Schwimmlernprozess eine der ersten Unterscheidungen, die im didaktisch, pädagogisch aufgebauten Prozess des Technikerwerbs bereits von Schwimmanfängern geleistet wird. Im späteren Verlauf, der so genannten Feinformung, findet eine Spezifizierung der einzelnen Phasen statt, wobei im Grunde genommen die Unterscheidung über und unter Wasser erhalten bleibt. So lassen sich Eckpunkte der Schwimmtechnik, hier insbesondere der Armbewegung, verschiedenen Bewegungsphasen zuordnen. Folgende inhaltliche Vorhersagen können abgeleitet werden:

1. Die Struktur mentaler Repräsentationen unterscheidet sich nicht in Abhängigkeit des Stimulusmaterials (Wortmarken vs. Bildmarken).
2. Die Reaktionszeiten in der SDA-M stehen in einem Zusammenhang mit der Zuordnung des Stimulusmaterials.

3. In Abhängigkeit des Entscheidungsprozesses (Zu- vs. Wegordnung) unterscheidet sich die kortikale Aktivierung bei unterschiedlichem, sportartspezifischem Stimulusmaterial.

7.2 Methode

7.2.1 Versuchspersonen

An den Experimenten nahmen $n = 11$ Vpn teil. Bei den Vpn handelte es sich um Studierende der Deutschen Sporthochschule Köln, von denen $n = 6$ Studentinnen waren. Das Alter der Versuchspersonen lag bei 24 (± 3) Jahren.

Die Vpn hatten den Studienfachbereich Schwimmen erfolgreich absolviert. So konnte sichergestellt werden, dass die Vpn bei der Durchführung der Experimente keine Schwierigkeiten hatten, dass gezeigte Bild- sowie Wortmaterial als schwimmsportliche Konzepte von Teilbewegungen der Gesamtbewegung des Delfinschwimmens zu identifizieren. Des Weiteren hatten die Vpn ausreichend Bewegungserfahrung mit der betreffenden Gesamtbewegung des Delfinschwimmens. Die Studierenden stammten allesamt aus dem gleichen Schwimmkurs und hatten beim gleichen Dozenten ihren Unterricht. Eine durch den Versuchsleiter jeweils im Einzelgespräch durchgeführte Vorbesprechung konnte sicherstellen, dass die an die Vpn gestellte experimentelle Aufgabe auch eingehalten werden konnten. Die Vpn wurden über den Ablauf des Experiments ausführlich informiert und konnten zu jedem beliebigen Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen den Versuch beenden. Die Vpn bestätigten, dass bei ihnen keine neurologischen Auffälligkeiten bekannt seien. Des Weiteren traten die Vpn ausgeruht zu den Experimenten an. Um eine spätere Auswertung der EEG-Daten nicht zu erschweren, waren die Vpn aller Experimente Rechtshänder (Jäncke, 2003), um mögliche Konfundierungen durch Hemisphärenunterschiede zu kontrollieren. Die Muttersprache der Vpn ist Deutsch.

7.2.2 Instrumentarien

- Videokamera (zur Überwachung der Vp)
- Monitor (17-Zoll; TFT - Farbmonitor)

- Computer (zur Aufzeichnung der elektrophysiologischen Daten und Verhaltensdaten)
- Laptop (P III™ zur Stimuluspräsentation und weiteren Erfassung der Verhaltensdaten)
- Reaktionsbox (Eigenbau)
- Versuchssteuerung (Eigenbau)
- Elektrolyt – Paste (Elektro-Gel™, Firma Elektro – Cap International Inc., Eaton, USA)
- stumpfe Spritze (zur Verteilung der Elektrolyt – Paste in den Elektroden)
- chloridfreie Peelingpaste
- Elektrodenhaube (Firma Elektro – Cap International; Inc., Eaton, USA)
- Elektroden
- medizinischer Alkohol
- Interviewleitfaden
- Stimulusmaterial (zum Delfinschwimmen)
 - begrifflich (Wortmarken)
 - bildlich (Bildmarken)

7.2.3 Aufbau und Ablauf

Die Untersuchung fand im Herbst 2005 an der Deutschen Sporthochschule Köln statt. Als Untersuchungsraum stand das neurowissenschaftliche Labor des Instituts für Motorik und Bewegungstechnik zur Verfügung. Der Versuchsaufbau folgt der in Abschnitt 6.2.3 beschriebenen Gestaltung.

Registrierung der elektrophysiologischen Daten

Die Registrierung der Elektrophysiologischen Daten erfolgt wie in Untersuchung 3.

Bei der Präsentation der Sets handelte es sich um ein sukzessives Aufteilverfahren mit dem Ziel, ein Item einer zuvor präsentierten Referenz zu zuordnen oder weg zu ordnen (SDA-M, vgl. Abschnitt 3.2.1; vgl. Abbildung 57), also eine kognitive Operation zu provozieren, bei

der auf bestehende Wissensbestände zurückgegriffen werden muss. Als eindeutige Antwort erfolgte die Zuordnung / Wegordnung mittels Tastendruck des linken Zeige- bzw. Mittelfinger (vgl. Abschnitt 6.2.3). Die Sets waren alle nach der vorangegangenen Beschreibung aufgebaut. Synchron zur Stimuluspräsentation wurde das Elektroencephaleogramm (EEG) aufgezeichnet.

Nach Artefaktbereinigung, Baselinekorrektur und Segmentierung wurde aus den EEG-Rohdaten über Mittelung Ereigniskorrelierte Potentiale für jede Vp und jedes Versuchsset ermittelt. Diese Ereigniskorrelierten Potentiale wurden später über weitere Mittelungsprozesse zu Grand Averages für das Set Wortmaterial und das Set Bildmaterial gemittelt. Die Erfassung der EEG-Daten erfolgte, wie in der Forschung mit EKP üblich, über Napfelektroden (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die Vpn wurden während der Durchführung der Experimente angehalten, sich so wenig wie möglich zu bewegen, um unnötige Artefakte die aus Kabelbewegung und Muskelkontraktion entstehen, zu vermeiden. Um Augenartefakte zu minimieren, sollten die Vpn nur nach erfolgter Antwort mit den Augen „zwinkern“. Kam es dennoch zu Störungen während und unmittelbar nach der Stimuluspräsentation, so wurde dieser Teil des Experiments verworfen. Ebenso wurden Antworten diskriminiert, die unter 100ms oder später als 2500ms nach Präsentation des Items, das zu oder weg geordnet werden sollte, gegeben wurden.

Vorbereitung der Untersuchungen

Vor Beginn aller Untersuchungen wurden über Befragung sichergestellt, dass die Vpn physisch sowie psychisch ausgeruht waren. Vor Ablauf der Untersuchung wurde den Vp die Untersuchung erklärt und auf Fragen der Teilnehmer eingegangen. Verständnisfragen wurden im Vorfeld geklärt. Erst nach Klärung aller offenen Fragen gaben die Vpn ihre Einverständniserklärung ab. Die Vorbereitung der Vpn dauerte in der Regel 45 – 60min.

Versuchsablauf

Innerhalb des Versuchsablaufs wurden den Vpn zwei Sets präsentiert. Dabei handelt es sich bei den Sets einerseits um bildliches Stimulusmaterial und andererseits um begriffliches Stimulusmaterial (Abbildung 56).

Bei dem bildlichen Stimulusmaterial handelte es sich um Abbildungen, die Bewegungsknoten (*BACs*) des Delfinschwimmens darstellen. Bei dem begrifflichen Stimulusmaterial handelte es sich um analoge Begriffe, die dieselben Bewegungsknoten (*BACs*) wie das bildliche

Stimulusmaterial beschrieben. Je Versuchssset wurden den Vpn sechs Blöcke mit je 5 Trials präsentiert.

Die in den Versuchsets präsentierten Items wurden im Expertenrating mit Lehrenden des Fachbereichs Schwimmsport (n = 5) der Deutschen Sporthochschule Köln extrahiert. Dabei entsprachen die begrifflichen Bewegungsknoten der üblichen Terminologie im Lehrgebiet Schwimmen und repräsentierten entscheidende *BAC* der Delfinschwimmbewegung (Abbildung 56).

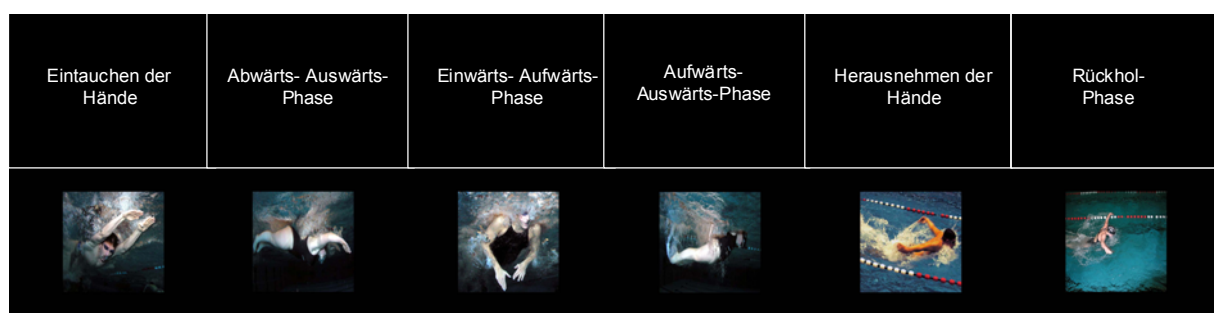


Abbildung 56 *Stimulusmaterial für die beiden Versuchssets. In der oberen Reihe befindet sich das begriffliche Stimulusmaterial, in der unteren Reihe das bildliche Stimulusmaterial. Beginnend auf der linken Seite stellen sie wichtige BACs dar, die einen Delfin-Schwimmzyklus ausmachen.*

In Abbildung 57 wird die zum Einsatz gekommene Prozedur schematisch beschrieben. In der Abbildung wird die Zu- bzw. Wegordnung eines Items zur jeweiligen Referenz (Anker) dargestellt. Zu Beginn jedes Trials wird der Vp für 500ms der jeweilige Anker aus der Bewegung gezeigt. Dieser Anker ist bei jedem Trial kenntlich gemacht. Bei dem begrifflichen Stimulusmaterial durch rote Schrift (Abbildung 57) und bei dem bildlichen Stimulusmaterial durch einen roten Rahmen (4Pixel breit; Abbildung 56), der sich um das jeweilige Bild abbildet. Jeder Bewegungsknoten steht einmal während der gesamten Splitprozedur in Referenz-/ Ankerstellung. Nach einem Interstimulusintervall (ISI) von 2000ms, die den Vpn die Möglichkeit geben soll, sich auf den jeweilige Anker einzustellen, erscheint das zu bzw. weg zu ordnende Item. Dieses Item erscheint für 500ms. Jeder Bewegungsknoten (außer der, der in Referenz-/ Ankerstellung steht) wird nun abwechselnd zu dem Anker präsentiert. Die Vp hat nun die Aufgabe, das Item dem Anker zu zuordnen oder weg zu ordnen. Der gesamte Trial dauert für jedes *BAC* 5000ms. Die gesamte Splitprozedur endet, wenn jeder Bewegungsknoten einmal in Referenz-/ Ankerstellung stand. Die Vp hat die Möglichkeit von

Erscheinen des Items bis Ende der Prozedur durch Tastendruck mit der linken Hand eine Antwort zu geben. Antworten, die außerhalb dieses Zeitbereichs gegeben wurden, wurden nicht erfasst.

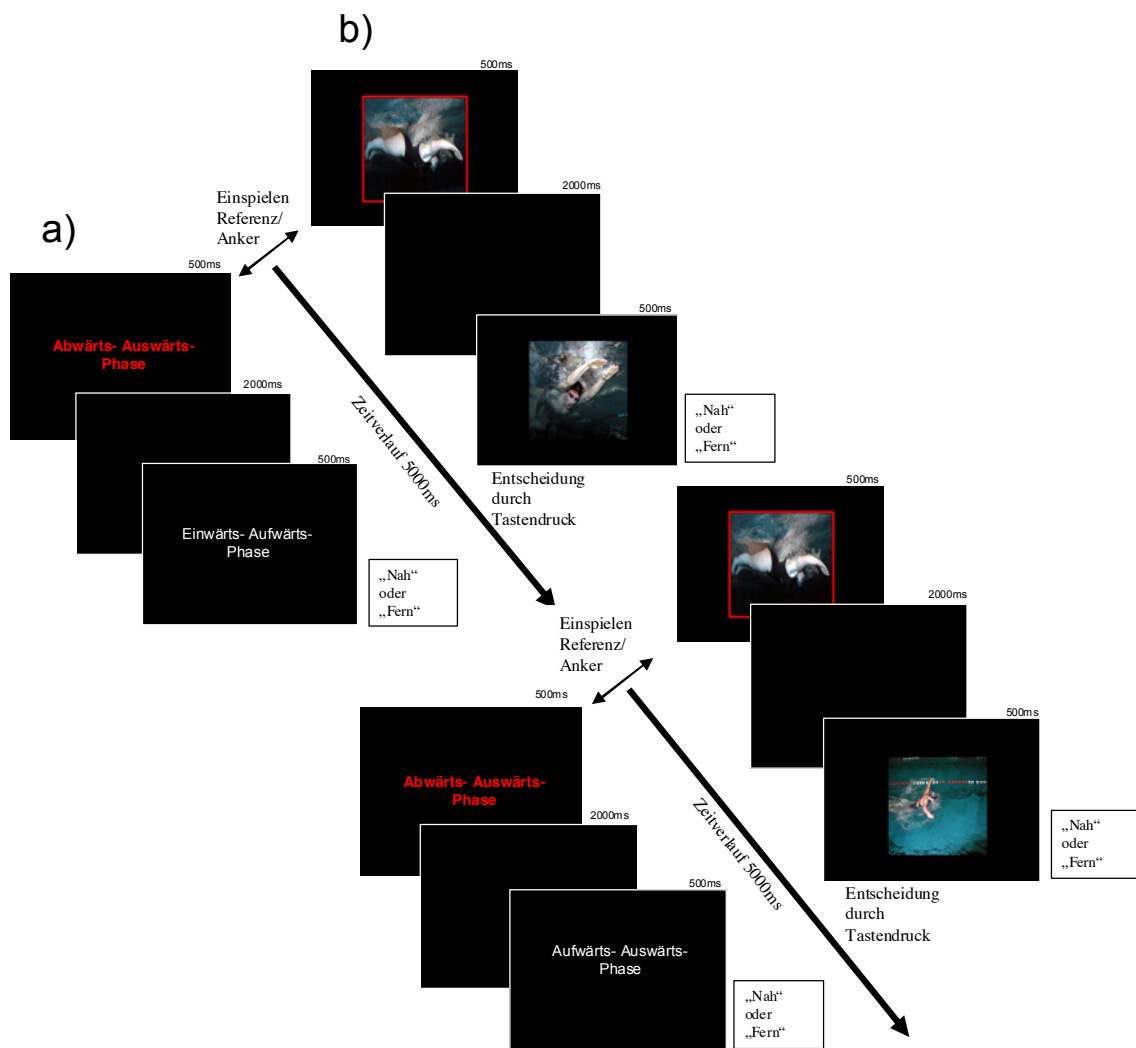


Abbildung 57 Das Schema zeigt den Ablauf von zwei Trials zur Erfassung der Struktur des Bewegungswissens. Zu Beginn jedes Trials erschien für 500ms der Anker. Nach 2000ms ISI erschien das Item für 500ms, das dann der Referenz zu oder weggeordnet werden sollte. Für die Zuordnung wurde synonym der Begriff „nah“, für Wegordnung der Begriff „fern“ gebraucht.. Das oben abgebildete Schema zeigt die Prozedur unter der Verwendung von Begriffen (a) und Bildmaterial (b), die die Knoten symbolisieren.

Während des Expertenratings wurde ein Ideal-Cluster gebildet, so wie die zu erwartende Clusterung der BACs bei ausgebildeten Schwimmern aussehen sollte. In der Abbildung 58 ist

die Idealstruktur dargestellt, die sich bei einem Schwimmer, wie bereits in der Einleitung zur Studie 4 erwähnt, in zwei Cluster gliedert. Einem Überwasserphase bezogenen Cluster und einen Unterwasserphase bezogenen Cluster. Das Bildmaterial bestand aus Fotomaterial, welches die Bewegungsknoten wiedergaben. Auch hier wurde im Expertenrating die Eindeutigkeit des Bildmaterials festgelegt. Eine weitere Überprüfung ergab, dass die bildlichen *BACs* analog zu den begrifflichen *BACs* sind.

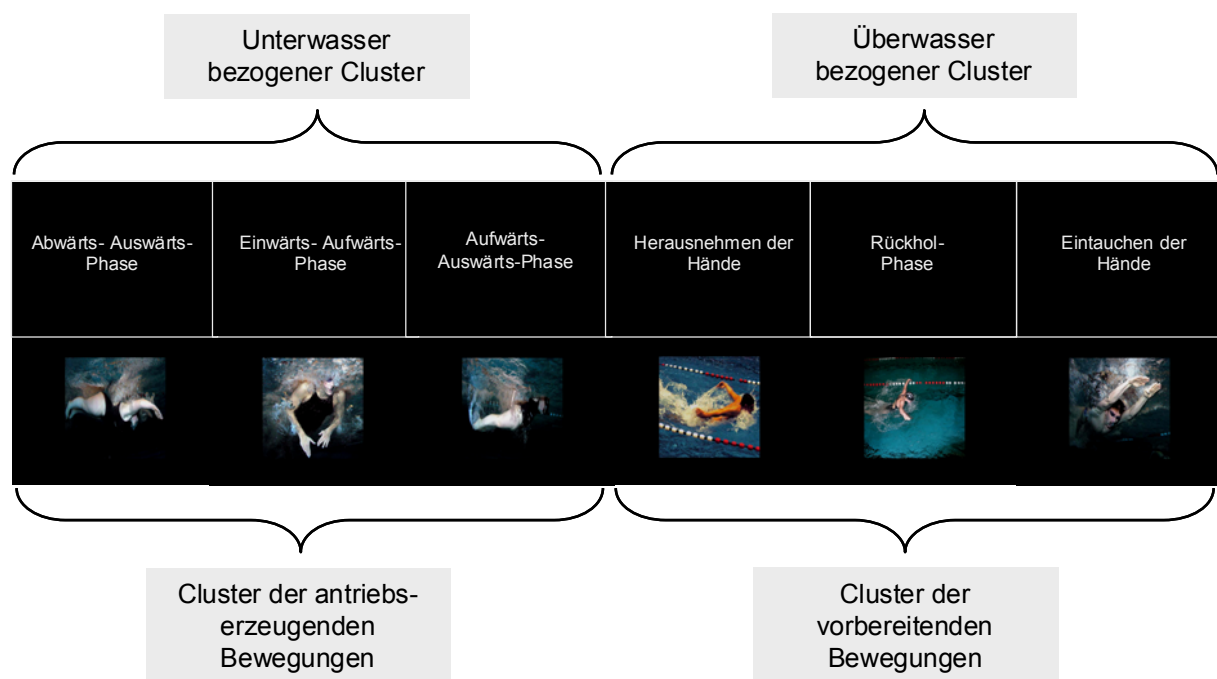


Abbildung 58 *Ideal-Cluster aus dem Expertenrating. Mit Schwimmsportlehrenden der Deutschen Sporthochschule Köln wurde im Expertenrating die wahrscheinliche Clusterung, die bei Schwimmern zu finden sein wird, vorgenommen. Dabei sind die Experten zu dem Schluss gekommen, dass zwei Cluster gebildet werden. Ein Cluster, der Bewegungskonzepte enthält, die der Antriebserzeugung dienen und einen Cluster der die Ausgangslage für die Antriebserzeugung herstellen.*

Es konnte ausgeschlossen werden, dass visuelle Verarbeitungseffekte wie mentale Rotation die Versuchsdurchführung belasteten (Rösler et al., 1997). Rösler (1997) stellte in einem Experiment zur Identifikationsentscheidung fest, dass die Amplitude der positiven Komponente nicht von der Orientierung des Zeichens beeinflusst wird. Testdurchgänge mit Schwimmsportlern aus dem Raum Köln zeigten die Praktikabilität und Eindeutigkeit des verwendeten Materials.

Zwischen den Sets wurde eine Pause von 20 Minuten eingelegt, die den Vpn zur Erholung dienen sollte. Die Stimuluspräsentation, Trial- und Blocksteuerung sowie die Aufzeichnung von Reaktionszeiten wurde von der Software Inquisit / Millisecond geleistet. Diese Software ermöglichte die millisekundengenaue Präsentation des ausgewählten Stimulusmaterials. Gleichzeitig wurden Reaktionszeiten aufgezeichnet. Das abgeleitete EEG wurde ebenso wie ein EMG vom Unterarmmuskel und Videoüberwachung des Versuchsablaufs vom EEG Rechner aufgezeichnet (vgl. Abschnitt 6.2.3).

Die gesamte Splitprozedur, so wie oben dargestellt, wurde im Verlauf des Experiments einer Reliabilitätsanalyse im Pre-Post-Design unterzogen. Die Pre-Posttestung lief mit einer zeitlichen Unterbrechung von einer Woche ab. Dabei konnte ein Reliabilitätskoeffizient für die Prozedur von $\lambda = .85$ gefunden werden. Beim Antwortverhalten zu der Computer gestützten SDA-M, wie bei Schack (2002) verwendet, konnte ein signifikanter Zusammenhang gefunden werden ($r = .85$; $p < .05$). Somit ist das für das Experiment verwendete Verfahren in Punkto Reliabilität und Validität geeignet. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den von Schack (2002) verwendeten Verfahren und dem hier angewendeten.

Strukturelle Rekonstruktion der Mentalen Repräsentation aus dem Antwortverhalten

Die erfassten Daten aus den Splitparadigma (nah / fern) wurden zunächst in eine Summenmatrix überführt, wobei in der Kopfspalte und Kopfzeile die jeweiligen Zuordnungen abzutragen sind. Aus Normierungsgründen wird anschließend eine Z-Transformation durchgeführt. Mit Hilfe einer hierarchischen Clusteranalyse wird das verwendete Konzeptmaterial einer Strukturanalyse unterzogen.

Die Erfassung der Verhaltensdaten erfolgte mit Hilfe einer Reaktionsbox, die auf der linken Armlehne des Versuchsstuhls innerhalb der Untersuchungskabine angebracht war. Die Vpn hatte je dargebotenem Item für die Zuordnung „nah“ oder „fern“ eine Taste zu drücken. Jeder Tastendruck wurde registriert und dabei die Entscheidung der Vpn sowie die Reaktionszeiten aufgezeichnet.

7.3 *Ergebnisdarstellung und Diskussion*

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der vierten Studie dargestellt werden. So sollen zunächst die Ergebnisse der SDA-M aufgeführt und diskutiert werden. Die Reaktionszeiten bilden den zweiten Teil dieses Kapitels, der dann mit der Darstellung und Diskussion der Ereigniskorrelierten Potentiale abschließt. Bei allen statistischen Untersuchungen wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ zugrunde gelegt.

7.3.1 *Struktur mentaler Repräsentation*

Die zentrale Frage, die in der Ergebnisdarstellung beantwortet werden soll, lautet: Sind die Clusterlösungen der Gruppe der Vpn für das Set des bildlichen Stimulusmaterials sowie des begrifflichen Stimulusmaterials gleich? An dieser Stelle scheint es sinnvoll, mit einer Betrachtung der mittleren Clusterlösung der Vpn zu beginnen. In der Betrachtung stehen die beiden Versuchssets. Wird eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ zu Grunde gelegt, werden in beiden Versuchssets zwei voneinander getrennte Cluster gebildet (vgl. Abbildung 59 und Abbildung 60). In Abbildung 59 ist die mittlere Clusterlösung aller $n = 11$ Vpn zu sehen, wie sie im Set mit dem Bildmaterial gefunden wurde. Es bilden sich dabei zwei Cluster, von denen einer die *BACs* der Bewegungen enthält, die der Antriebserzeugung dienen. Der zweite Cluster beinhaltet die *BACs*, die zur Vorbereitung der Antriebserzeugung dienen. Somit lässt sich festhalten, dass die Clusterung für das Set mit dem bildlichen Stimulusmaterial funktional gegliedert ist. Solche Ergebnisse finden sich schon bei Berthold, Engel und Schack (2004), auch hier findet sich eine funktionale Clusterung. Die zu erwartende Clusterlösung mit zwei voneinander getrennten Clustern, die auf der einen Seite die Überwasserphase (Rückholphase und dazugehörige Elemente) und auf der anderen Seite die Unterwasserphase (antriebswirksame Phase) beinhalten, konnte hier nachgewiesen werden. Es ist nahe liegend, dass die interne Effektrepräsentation eine solche Clusterung unterstützt. Der Haupteffekt, der dieser Clusterung zu Grunde liegt ist die Antriebserzeugung und der damit verbundenen deutlichen Unterscheidung zu dem anderen gebildeten Cluster. So erscheint das „sich Fortbewegen“ eine starke Anziehungskraft auf die damit verbundenen Cluster zu haben. In dieser Deutlichkeit war das Ergebnis nicht zu erwarten, wäre doch auch eine Clusterung nach den Kraftwirkungsrichtungen möglich gewesen: Zug-, Druck- und Rückholphase. So scheint die Struktur der mentalen Repräsentation stark an dem Zweck der eigentlichen Bewegung, der Fortbewegung, gebunden zu sein. Im Expertenrating wurde zuvor die gleiche Struktur festgelegt.

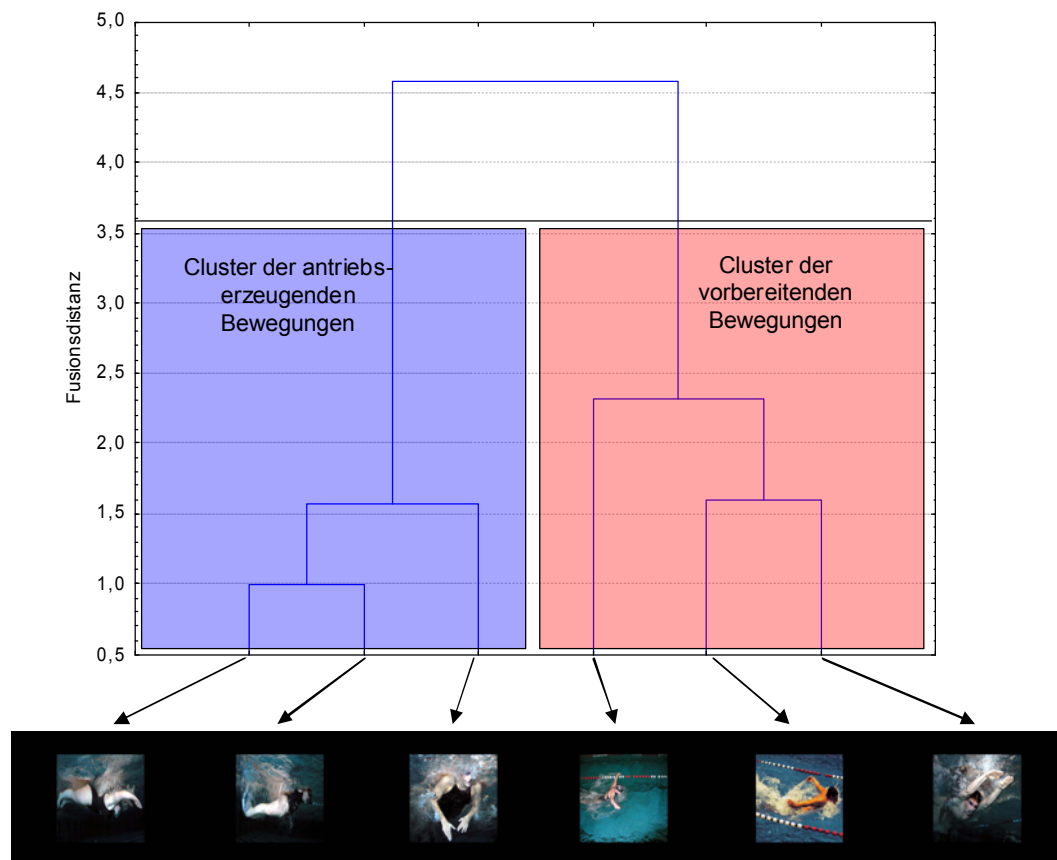


Abbildung 59 Dendrogramm der Bewegungsstruktur beim Delfinschwimmen, das über alle Vpn gemittelt wurde ($N=11$ Vpn, $\alpha=5\%$, $d_{krit}=3.559$). Verwendet wurde im Splitparadigma Bildmaterial. Die untere Bildreihe zeigt das verwendete bildliche Stimulusmaterial, das den Vpn präsentiert wurde in der Reihenfolge der Clusterung. Die extrahierte Struktur wurde wie erwartet gebildet. Es wurden dabei wie erwartet zwei Cluster gebildet: A) Ein antriebsbezogener Cluster (blau) und B) ein Cluster, das der Vorbereitung der Antriebsbewegung dient (rot).

Im Set mit dem begrifflichen Stimulusmaterial werden ebenfalls zwei Cluster gebildet (vgl. Abbildung 60). Wird auch hier eine Fehlerwahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$ zugrunde gelegt, werden zwei voneinander getrennte Cluster gebildet. Dabei wird ein Cluster gebildet, das die Überwasserphase (die vorbereitende Funktion, für die anschließende Unterwasserphase) und ein Cluster, das die Unterwasserphase (funktional antriebswirksame Phase) repräsentiert. Diese Ergebnisse der SDA-M lassen den Schluss zu, dass auch im Set mit dem begrifflichen Stimulusmaterial für das Delfinschwimmen zwei funktional unterschiedliche Cluster gebildet werden. Einen Cluster, in den die Bewegungsabläufe mit vorbereitender Funktion repräsentiert sind („Herausnehmen der Hände; Rückholphase“ und „Eintauchen der Hände“),

welche die Rückführung der Arme in Ausgangsposition beinhaltet, der eine wichtige vorbereitende Funktion für die anschließenden antriebswirksamen Bewegungen zukommt (Colwin, 2002). Einen weiteren Cluster der die antriebserzeugenden Bewegungen der Hand unter Wasser beinhaltet („Aufwärts-Auswärts-Phase; Abwärts-Auswärts-Phase“ und „Einwärts-Aufwärts-Phase“). An dieser Stelle kann die wichtige Verbindung von Körperteilbewegungen (hier Bewegung der Arme) herausgestellt werden. Für den Schwimmer ist eine effektive Antriebserzeugung ein wichtiges Teilziel seiner schwimmerischen Betätigung. Die klare Differenzierung der Struktur der mentalen Repräsentation in antriebserzeugende Bewegungen und vorbereitende Bewegungen stellt dieses noch einmal deutlich heraus.

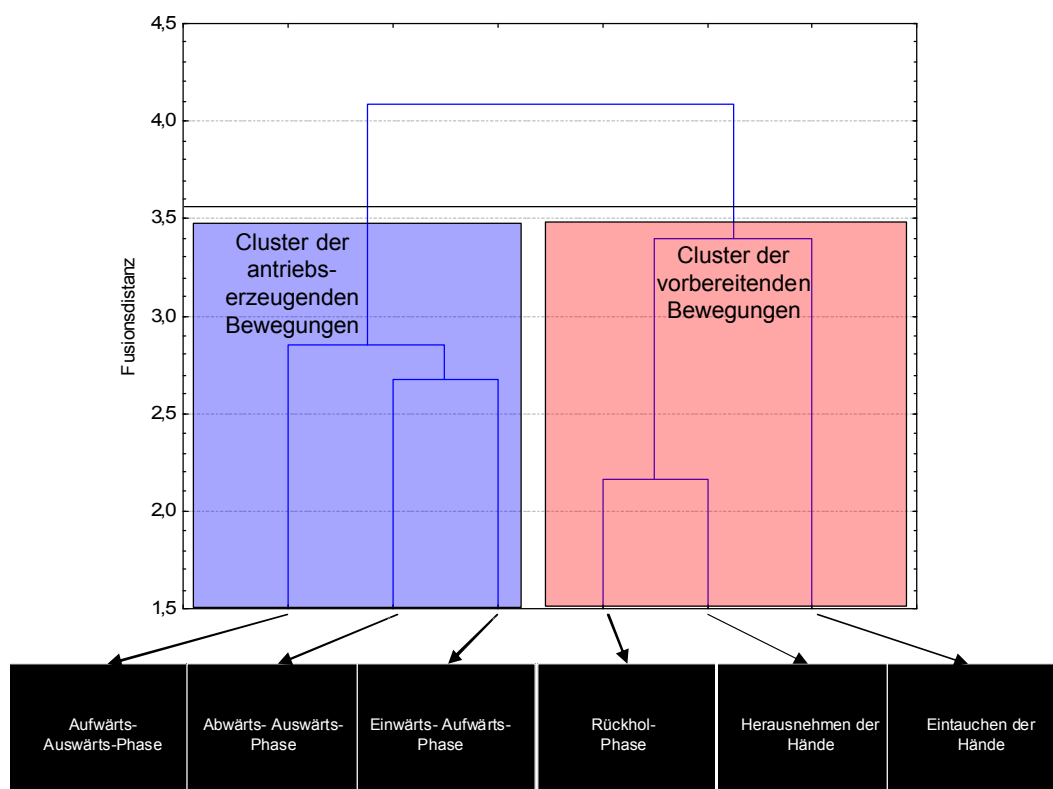


Abbildung 60 Dendrogramm der Bewegungsstruktur beim Delfinschwimmen, dass über alle Vpn gemittelt wurde ($N = 11$ Vpn, $\alpha = 5\%$, $d_{krit} = 3.559$). Verwendet wurde im Splitparadigma Wortmaterial. Die untere Bildreihe zeigt das verwendete begriffliche Stimulusmaterial, dass den Vpn präsentiert wurde in der Reihenfolge der Clusterung. Die extrahierte Struktur wurde wie erwartet gebildet. Es wurden dabei wie erwartet zwei Cluster gebildet: A) Ein antriebsbezogener Cluster (blau) und B) ein Cluster, der der Vorbereitung der Antriebsbewegung dient (rot).

Dass die mittlere Clusterlösung in beiden Versuchssets gleich ist, bestätigt die Eingangshypothese. Die Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse zeigen für das begriffliche sowie das bildliche Stimulusmaterial die gleiche Struktur. Eine Invarianzanalyse zwischen den mittleren Clusterlösungen ergab für $\lambda = 1.00$. Somit kann festgestellt werden, dass bei der Verarbeitung unterschiedlichen Reizmaterials sich die Struktur der mentalen Repräsentation gleich abbildet.

Ein Blick auf die Reaktionszeiten soll nun im Folgenden weiter Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufdecken.

7.3.2 Reaktionszeiten

Bei der Betrachtung der Reaktionszeiten zeigt sich deutlich, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Antworten nah und fern gibt ($F(1, 147) = 348.25; p < .05$). Dabei unterscheidet sich zudem das Antwortverhalten zwischen den beiden Sets ($F(1, 147) = 481.65, p < .05$). Des Weiteren findet sich ein Interaktionseffekt zwischen dem Antwortverhalten und dem verwendeten Stimulusmaterial ($F(1, 147) = 10,521, p < .05$). In Abbildung 61 sind die Reaktionszeiten für das in den Sets verwendete begrifflichen Material und bildliche Material als Balkendiagramm dargestellt. Die ausgewerteten Daten für das Set mit dem begrifflichen Material zeigen, dass die Antwort fern nach 1078,84ms gegeben wird. Die Antwort „nah“ erfolgt nach 1196,95ms. Im Set mit dem bildlichen Material erfolgt die Antwort „fern“ nach 741,95ms, die Antwort nah nach 901,02ms. Daraus ergibt sich eine schnellere Reaktionszeit für das bildliche Material von 295,92ms für die Antwort „nah“ und 336,88ms für die Antwort „fern“.

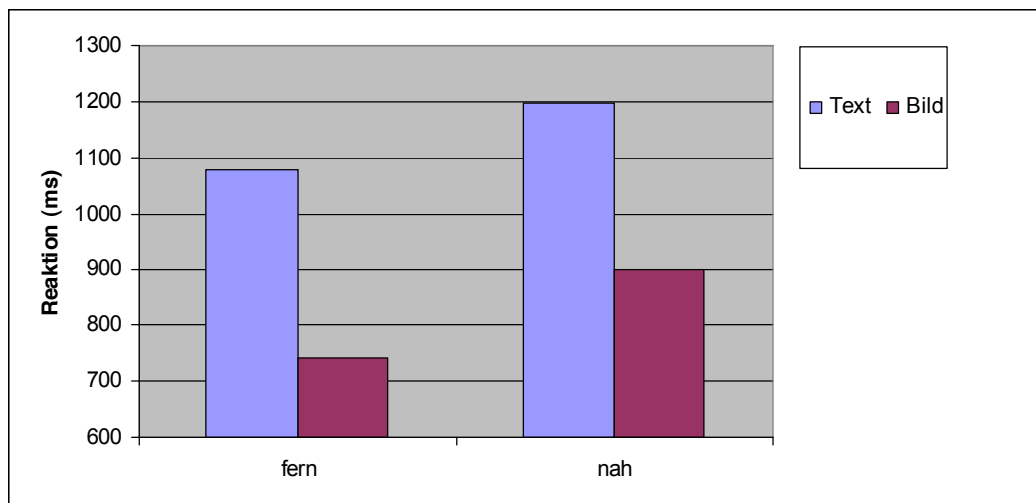


Abbildung 61 Reaktionszeiten der für das in den Sets verwendete Textmaterial und Bildmaterial. In Set mit dem begrifflichen Material (Text) wird die Antwort „fern“ nach 1078,84ms gegeben, die Antwort „nah“ erfolgt nach 1196,95ms. Im Set mit dem bildlichen Material (Bild) erfolgt die Antwort „fern“ nach 741,95ms, die Antwort „nah“ nach 901,02ms. Daraus ergibt sich eine schnellere Reaktionszeit für das Bildmaterial von 295,92ms für die Antwort „nah“ und 336,88ms für die Antwort „fern“.

Das Ergebnismuster deutet auf einen Symbol-Distanz Effekt hin (DeRosa & Tkacz, 1976). Die Reaktionszeiten der getroffenen Entscheidungen lassen darauf schließen, dass die Zuordnung eines *BAC* mehr Zeit in Anspruch nimmt als die Wegordnung. Die verlängerte Reaktionszeit für das Set mit dem Wortmaterial lässt auf eine verlängerte Verarbeitungszeit vermuten. Vergleicht man die gegebenen Antworten miteinander, so ergibt sich für die Antwort „nah“ eine verlängerte Reaktionszeit von 295,92ms und für die Antwort „fern“ von 336,88ms für das Set mit dem Wortmaterial. Daraus errechnet sich eine mittlere verlängerte Reaktionszeit von 316,40ms für das Set mit dem Wortmaterial. Hier wird deutlich, dass abstrakte Konstrukte wie Präpositionen zunächst einmal gesondert verarbeitet werden müssen, bis sie der entsprechenden Repräsentationen zugeordnet werden können. Allerdings lässt sich in Verbindung mit den Ergebnissen der SDA-M sagen, dass die Zuordnung begrifflicher sowie bildlicher Stimuli zu den gleichen Ergebnissen führt. Somit lässt sich festhalten, dass die Encodierung des abstrakten begrifflichen Stimulusmaterials länger dauert als das konkrete bildliche. Aber dennoch werden die gleichen *BAC* aktiviert und strukturell abgebildet. Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass sich mit Hilfe der SDA-M über

verschiedene Zugänge (sprachlich vs. bildlich) ein und dieselbe mentale Repräsentation aktivieren lässt.

In Abbildung 62 ist die erweiterte Modellvorstellung der Beziehungsstärken zwischen den BACs des Delfinschwimmens dargestellt. Deutlich wird die dimensionale Clusterung der verschiedenen BACs.

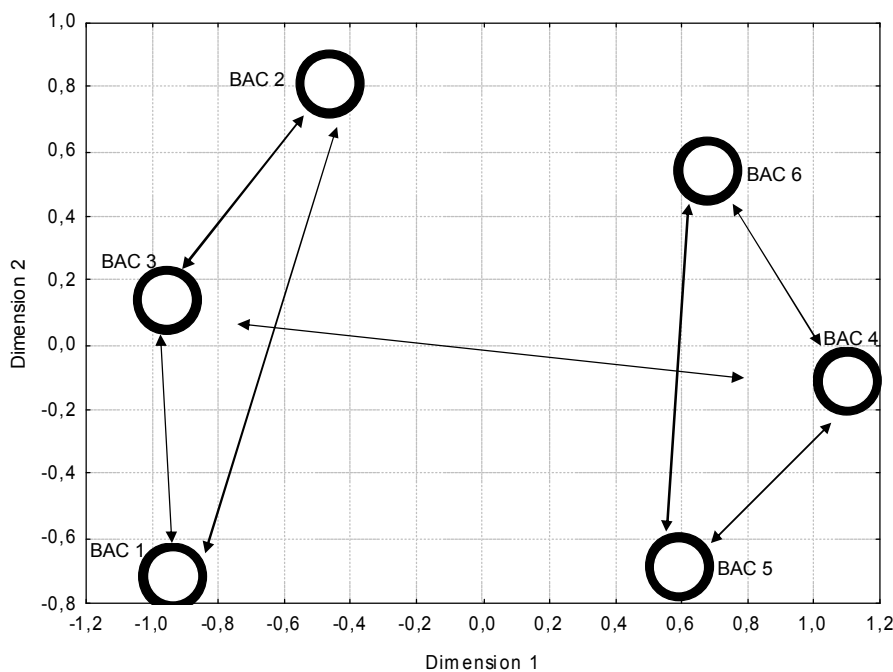


Abbildung 62 Erweiterte Modellvorstellung zu den Beziehungsstärken der BACs des Delfinschwimmens.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse aus Sicht der kortikalen Aktivierung betrachtet werden. Hier wird auf der Suche nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden die kortikale Aktivierung des P3 bei der Zu- und Wegordnung (nah / fern) im Split-Verfahren betrachtet.

7.3.3 Ereigniskorrelierte Potentiale – Der P3-Effekt im Splitparadigma

Nach der Berechnung der EEG Daten wurden die beiden Sets näher geprüft. Die EKP- average Parameter wurden anhand der Baseline 100ms vor dem ersten Stimulus quantifiziert. Als entscheidender Parameter wurde die P3 festgelegt (vgl. Abschnitt 3.2.2). So lässt sich bei Aufgaben, die einen Vergleich zweier Reize mit anschließender Entscheidung beinhalten, auf den zweiten Reiz eine P300-Komponente beobachten (Campanella et al., 2002).

Zur näheren Betrachtung wurden jeweils die zuzuordnenden Items nach ihrer Zuordnung differenziert. So war es möglich, die Entscheidungen „nah“ und „fern“ und ihre elektrophysiologischen Aktivierungen zu betrachten. So wie in den Daten der SDA-M gefundenen Differenzierungen der *BAC* Sortierungen (nah und fern) sollten sich auch Unterscheidungen innerhalb der EKP Daten finden.

Zunächst wurde eine Sichtprüfung der EKPs im Grand Average über alle Vpn für die Elektroden F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz und P4 durchgeführt. Die Auswahl der Elektroden erfolgte nach der in der EKP Forschung üblichen Weise (Sänger, 2007). Somit war es möglich eine erste Eingrenzung des Zeitbereiches vorzunehmen, in dem Haupteffekte vermutet werden könnten.

In Abbildung 63 sind die Grand Averages der neun in die Auswertung eingeflossenen Elektroden für das Bildmaterial dargestellt. Der grau unterlegte Zeitbereich ist derjenige, für den der stärkste Effekt (P3) vermutet wird. In der Darstellung wurde ein Zeitbereich von -100ms bis 800ms gewählt, der auf der Abszisse abgetragen wurde. Auf der Ordinate sind die Spannungswerte von $-7\mu\text{V}$ bis $7\mu\text{V}$ abgetragen.

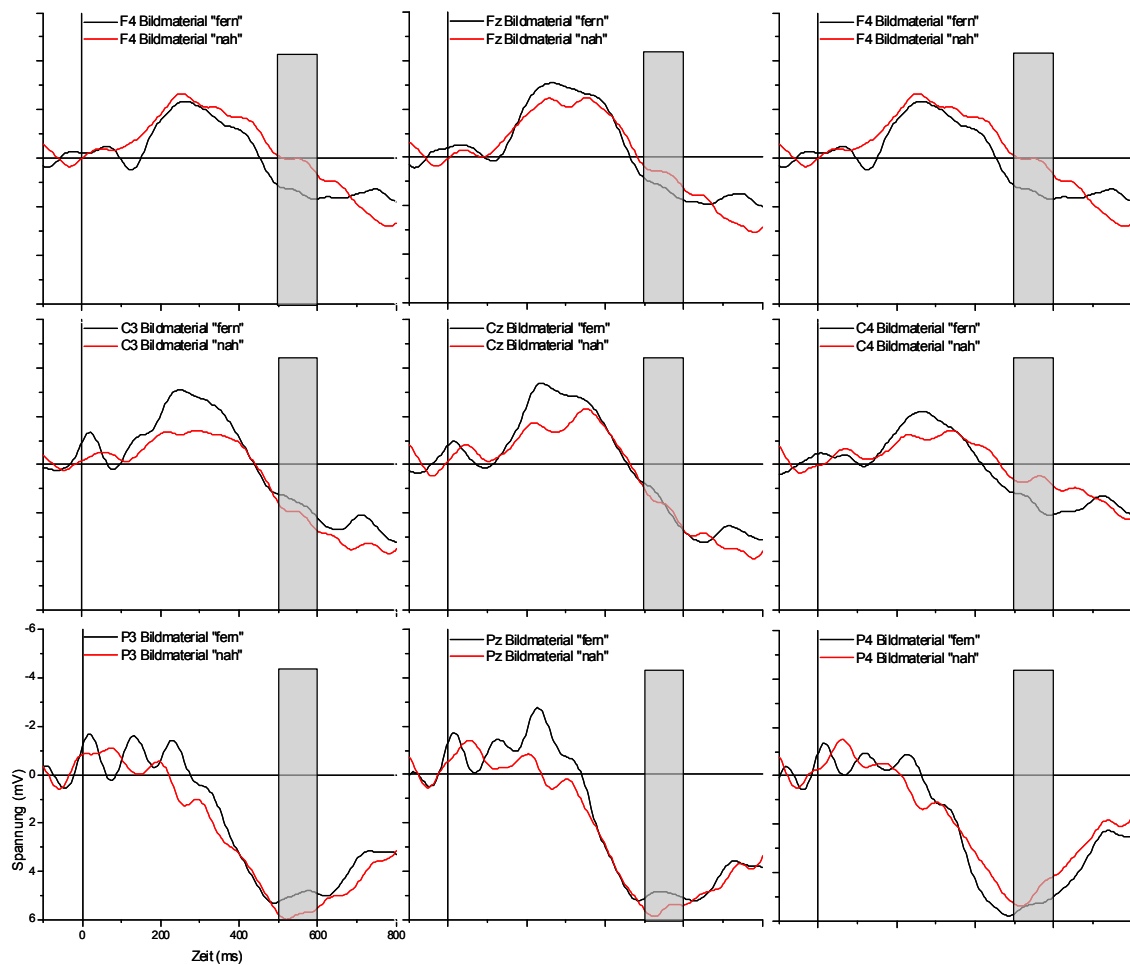


Abbildung 63 Grand-average Stimulus bezogen für das Bildmaterial an den Elektroden F3; Fz; F4; C3; Cz; C4; P3; Pz und P4. Dargestellt ist der Zeitbereich von -100 bis 800ms. Die Präsentation des Items, welches dem Anker zugeordnet werden sollte, erfolgte in der Zeitspanne von 0ms bis 500ms. Der grau unterlegte Zeitbereich (500ms bis 600ms) ist der Bereich, in dem sich die deutlichsten Effekte fanden und der einer besonderen Prüfung unterzogen wurde.

Auf der Suche nach einem möglichen Effekt wurde der aufgezeichnete Bereich nach Itemrepräsentation (von 300ms bis 1000ms) über 700ms nochmals mittels statistischer Analyse (messwiederholte ANOVA; Zeitbereiche x Antwortverhalten) betrachtet. Dabei ließ sich eine Hauptaktivität für den P3 in einem Bereich von 500ms bis 600ms festlegen.

Die Abbildung 64 zeigt die Verläufe der mittleren Spannungswerte über jeweils 100ms der Elektroden F3; Fz; F4; C3; Cz; C4; P3; Pz und P4. Auf der Abszisse sind die über die einzelnen Elektroden gemittelten Zeitfenster (je 100ms) abgetragen. Betrachtet werden hier

die signifikanten Unterschiede in den Zeitfenstern zwischen den Antworten nah und fern. So konnte ein Haupteffekt an den Elektroden P3 und Pz gefunden werden. Da die Gefahr besteht, dass sich Effekte statistisch überlagern, wird im Folgenden der Zeitbereich von 500ms bis 600ms statistisch näher beleuchtet werden. Zunächst einmal lässt sich aber festhalten, dass dieser Zeitbereich durchaus dem entspricht, was die einschlägige Literatur für den P3 auch vorschlägt (Seifert, 2005) und auch aus anderen Untersuchungen zum P3 bekannt ist (Hill et al., 2004).

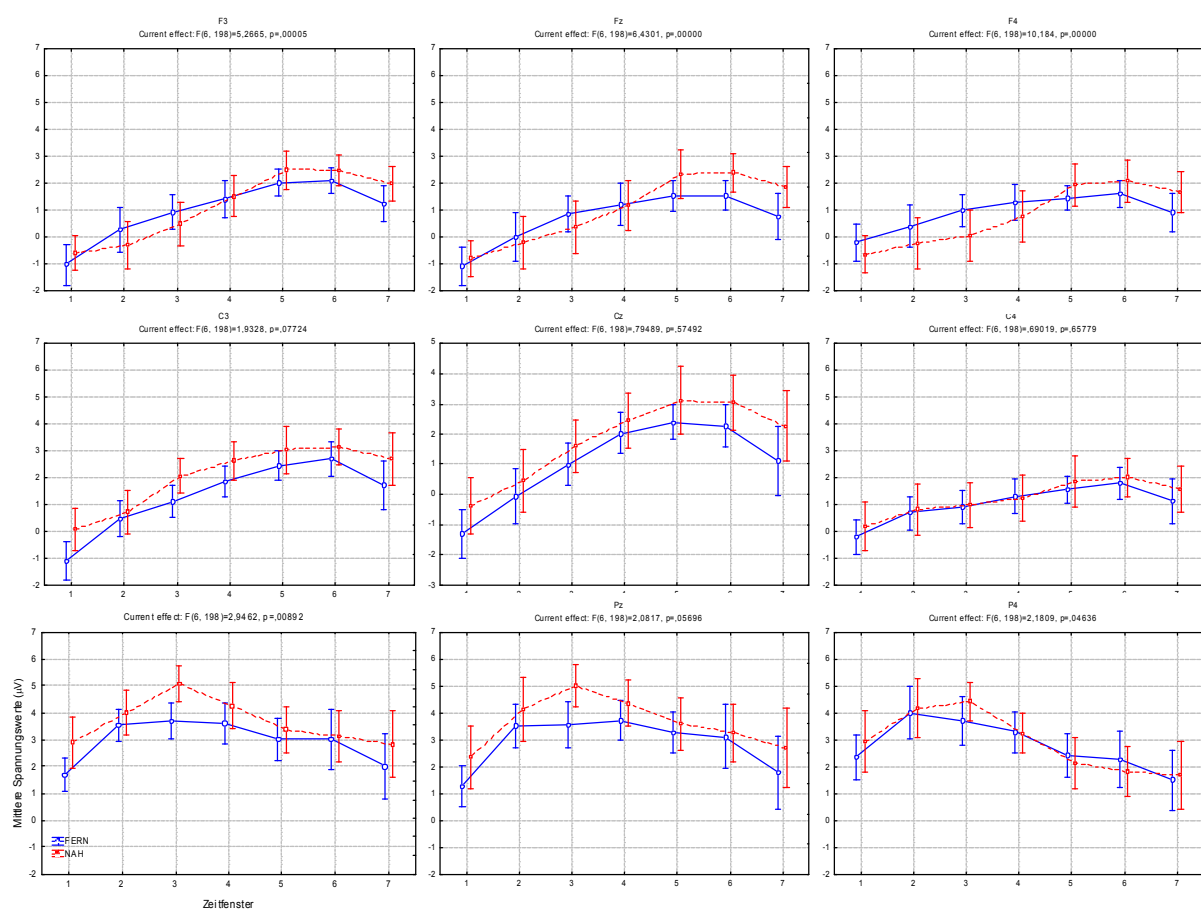


Abbildung 64 Mittlere Zeit-Spannungsverläufe der Elektroden F3; Fz; F4; C3; Cz; C4; P3; Pz und P4. In der Abbildung sind die näher betrachteten Elektroden mit ihren Verläufen der mittleren Spannung dargestellt. Auf der Abszisse sind die über die einzelnen Elektroden gemittelten Zeitfenster abgetragen (z.B. Zeitfenster 1 beinhaltet die Mittelwerte von 300ms bis 400ms; usw.). Betrachtet werden hier die signifikanten Unterschiede in den Zeitfenstern zwischen den Antworten nah und fern. Die Mittelwerte setzen sich aus jeweils 100ms aus den ereigniskorrelierten Potentialen der einzelnen Elektroden zusammen. Der gesuchte Effekt wird parietal gefunden (Elektrode P3 und Pz).

Um eine zusätzliche Eingrenzung des auftretenden Effekts zu leisten, wurde zu der Betrachtung das Differenzmap für den Zeitbereich von 500ms bis 600ms hinzugezogen. In Abbildung 65 ist ein Differenzmap (Zu- / Wegordnung) mit einem zentroparietalen Effekt zu sehen.

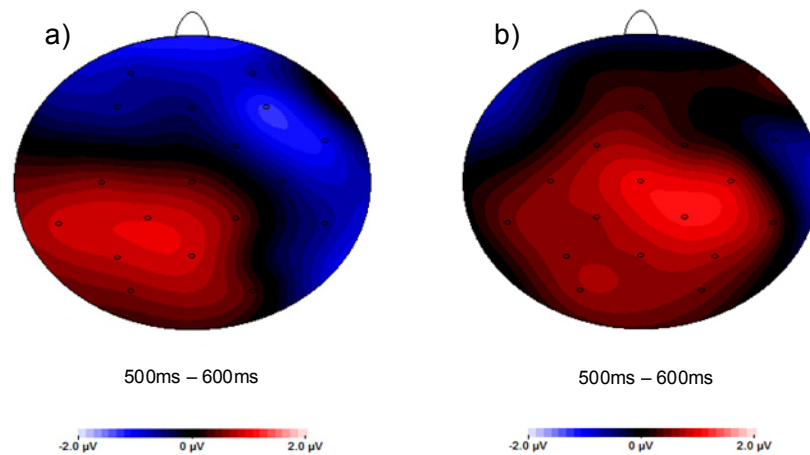


Abbildung 65 Differenzmap des relevanten Effekts im Zeitbereich von 500ms bis 600ms. Im zentroparietalen orientierten Bereich zeigt sich eine deutliche Positivierung. a) zeigt die Differenzmap des Bildmaterials und b) des Wortmaterials.

Anschließend wurden der Mittelwert des Zeitbereiches (Zeitfenster) einer messwiederholten ANOVA (2x2x3x3) unterzogen. Als abhängige Variablen wurden dabei Stimulusmaterial (Bild und Wort), Antwortverhalten (nah und fern), Kaudalität (anterior, zentral und posterior) sowie Lateralität (rechts, mitte und links) herangezogen. Daraufhin fand sich im Bereich zwischen 500ms und 600ms ein Haupteffekt für das verwendete Stimulusmaterial [$F(1, 21) = 7.89; p = .01$]. Ein weiterer Haupteffekt ergibt sich bei der Kaudalität [$F(2, 42) = 161.79; p = < .05$] ebenso wie bei der Lateralität [$F(2, 42) = 4.62; p = .01$]. Interaktionseffekte können für Kaudalität und Stimulusmaterial [$F(2, 42) = 3.45; p = .04$], Kaudalität und Antwortverhalten [$F(2, 42) = 31.3; p = < .05$], Lateralität und Antwortverhalten [$F(2, 42) = 14.46; p < .05$] und Lateralität und Kaudalität [$F(4, 84) = 2.97; p = .02$] errechnet werden. Diese Ergebnisse waren gemäß der aufgestellten Hypothese zu erwarten. Die Verarbeitung der Stimulusmaterialien unterscheidet sich signifikant (s.o.). Dieses wird durch die Ergebnisse der Reaktionszeiten untermauert. Es lässt sich somit annehmen, dass bei der Verarbeitung der Stimulusmaterialien unterschiedliche kortikale Prozesse ablaufen. Dieses erscheint in diesem

Zusammenhang plausibel, da aus vorangegangenen Untersuchungen bekannt ist, dass die Enkodierung von begrifflichen und bildlichen Stimulusmaterial unterschiedliche kortikale Areale und Prozesse in Anspruch nehmen (für Sprachverstehen Friederici, 2003). Nun soll im Folgenden der Hypothese nachgegangen werden, dass sich beim Antwortverhalten eine Unterscheidung treffen lässt. Über eine 2x2x3 messwiederholte ANOVA (Stimulusmaterial, Antwortverhalten und Lateralität) errechnet sich ein Haupteffekt im Antwortverhalten für den frontalen Bereich [$F(1, 21) = 5.42; p = .02$], kein Haupteffekt für den zentralen Bereich, jedoch für den parietalen Bereich [$F(1, 21) = 12.86; p < .05$]. Überraschenderweise findet sich ein frontaler Haupteffekt. Der P3 wird in der Regel mit zentro-parietalen Strukturen in Verbindung gebracht (Hruby & Marsalek, 2003). Ein Grund für diese signifikanten Unterschiede in der Aktivierung mag in der Tatsache liegen, dass unterschiedliche kortikale Aktivierungen für den Bereich des Symbol- Distanz- Effekt vorliegen. Somit erscheint es plausibel, dass Experten mit einem hohen Expertisestatus und strukturierten Bewegungswissen für die Ordnung von Items jeweils für die Entscheidung nah oder fern unterschiedliche kortikale Aktivierungen aufweisen. Die Zuordnung zu einer Referenz in Punkto Speicherung, Suche und Integration (Krause, 2000) kann eine andere kortikale Aktivierung hervorrufen als die Wegordnung. Somit gelingt in vorliegender Untersuchung der Nachweis, Bewegungswissen über verschiedene Wege zu aktivieren.

7.4 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Verarbeitung unterschiedlicher Stimulusmaterialien und der Struktur zugrunde liegender mentaler Repräsentationen. Dazu wurde mit Hilfe der SDA-M die Struktur der mentalen Repräsentation ermittelt. Synchron dazu wurde ein EEG abgeleitet, aus dem Ereigniskorrelierte Potentiale differenziert wurden. Als Stimulusmaterial wurden BACs des Delfinschwimmens in Form von Bild- und Wortmarken verwendet.

Die Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse gaben ein überraschendes Bild wieder. Unabhängig von der Art des Stimulusmaterials konnten die gleichen Clusterlösungen quantifiziert werden. Die Ergebnisse der elektrophysiologischen Maße gaben hingegen ein anderes Bild wieder. Die Verarbeitung der Stimulusmaterialien unterscheidet sich dabei signifikant. Dieses wird durch die Ergebnisse der Reaktionszeiten untermauert. Doch nicht nur hier findet sich ein signifikanter Unterschied, sondern auch innerhalb der verschiedenen

Stimulusmaterialien. So besteht innerhalb der verschiedenen Stimulusmaterialien ein signifikanter Unterschied im frontalen Bereich bei der Zuordnung „nah“ und „fern“.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die hier gefundenen Ergebnisse einen amodalen Ansatz der Repräsentation bewegungsbasierter Wissensbestände unterstützen. Dabei scheinen die BACs eine korrespondierende Funktion zu übernehmen. Sie sind in ihren Eigenschaften nicht nur Merkmalsträger abstrakter Eckpunkte eines Bewegungsgefüges, sondern korrespondieren gleichzeitig mit begrifflichen abstrakten Informationen sowie bildhaft anschaulichen Informationen. Dieses kann unmittelbar durch die Ergebnisse der SDA-M und der Analyse der EKPs belegt werden. Das unterschiedliche Stimulusmaterial wird kortikal unterschiedlich enkodiert und bildet dennoch ein und dieselbe mentale Repräsentation ab. Hier werden beispielsweise Anknüpfungspunkte hinsichtlich des Wahrnehmungs-Handlungs-Zyklus im Ansatz des common codings (Prinz, 2002, 2003) offensichtlich.

Die Ergebnisse der letzten Untersuchung können in das Modell von Schack (2002) eingebunden werden. Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse wird deutlich, dass unterschiedliche sensomotorische Repräsentationen offenbar Bezug zu gleichen mentalen Repräsentationen nehmen können. Damit werden nach Schacks Modell die Ebenen II und III von den Ergebnissen berührt. Funktional unterschiedliche sensomotorische Repräsentationen stehen offenbar im Sinne des Prinzips einer funktionalen Äquivalenz in Bezug zu gleichen mentalen Repräsentationsstrukturen.

8 Gesamtdiskussion und Ausblick

*„... dâ wârn die wege manecvalt:
dô kêrt ich nâch der zeswen hant
ûf einen stîc den ich dâ vant.
der wart vil rûch und enge:
durch dorne und gedreng
sô vuor ich allen den tac,
daz ich vûir wâr wohl srechen mac
daz ich sô groze arbeit
nie von ungeverte erleit. ...“ (vonAue,
1992, S.22)*

Auf mentale Repräsentationen von Bewegungshandlungen wird nahezu permanent zugegriffen. Ob im Sport oder im alltäglichen Leben, die Repräsentation von Bewegungshandlungen hilft dem Menschen, handlungsfähig zu bleiben und erfolgreich sein Leben zu gestalten. Daher ist eine Forschung, die sich mit diesem Themenbereich beschäftigt, nicht nur für das allgemeine Leben wichtig, sondern besitzt auch eine hohe kognitionswissenschaftliche Relevanz. Dabei scheint es wichtig zu sein, neuen Ideen zu folgen und damit neue Wege zu beschreiten. Neue und erweiterte Forschungsmethoden bereiten dazu den Weg und eröffnen neue Einblicke.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Betrachtung mentaler Repräsentationen von Bewegungshandlungen mit verstärktem sensomotorischen Bezug. Dabei dienten Bewegungen des Schwimmens als Basis für verschiedene Studien. So gelang es, in einem sportpraktischen Forschungsfeld neue Ergebnisse zu präsentieren und weitere theoretische kognitionswissenschaftliche Kofundierungen zu erstellen.

8.1 Theoretische und methodische Bezugsetzungen und zentrale Ergebnisse

Die dargestellten empirischen Untersuchungen eröffnet ein Feld für differenzierte Bezugsetzungen zu der Problemstellung der vorliegenden Arbeit.

Die Strukturdimensionale Analyse konnte bei der vorliegenden Arbeit in einer hoch differenzierten Art und Weise eingesetzt werden. Mit ihr ist es über die Split-Prozedur möglich, Zugriff auf die Struktur mentaler Repräsentationen zu erlangen, ohne dass die Probanden ihre Bewegungsvorstellung explizieren müssen. Sie diente in der ersten Untersuchung zur differentiellen Analyse von Bewegungshandlungen (vgl. Kapitel 4). Dabei konnten gruppen- und individualbezogene Aussagen zur mentalen Repräsentation von

Bewegungshandlungen getroffen werden. Qualitative Bezüge zur tatsächlichen Bewegungsausführung konnten dabei deutlich gemacht werden. In der zweiten Untersuchung wurde mit der Strukturdimensionalen Analyse Motorik eine lernbedingte Veränderung mentaler Repräsentationen betrachtet (vgl. Kapitel 5). Auch hier wurden gruppen- und individualbezogene Aussagen zur mentalen Repräsentation von speziellen Bewegungshandlungen getroffen. In der vierten Untersuchung wurden die Ergebnisse der Strukturdimensionalen Analyse Motorik einer Bewegungshandlung erstmals mit EKP Daten zusammengeführt (vgl. Kapitel 7). Dies war ein völlig neues Einsatzgebiet des Analyseverfahrens. In diesem Zusammenhang konnten Aussagen zur kortikalen Aktivierung bei differentieller Verarbeitung bewegungsbezogener Stimulusmaterialien getroffen werden. Vorbereitend dazu erfolgte in Untersuchung 3 eine Betrachtung elektrophysiologischer Korrelate der einfachen Verarbeitung von Bewegungswissen (vgl. Kapitel 6). In dieser Untersuchung konnten Aussagen zur kortikalen Aktivierung bei der Verarbeitung verschiedener kategorialer Stimulusmaterialien getätigt werden.

Die Untersuchungen verdeutlichten u.a. folgende Punkte:

- a. Eine hierarchisch orientierte Struktur mentaler Repräsentationen ist bei Bewegungshandlungen nachweisbar, die überwiegend mit sensorischen Evidenzen in Verbindung stehen und deren Qualität der Bewegungsausführung maßgeblich davon abhängt (U1, U2, U4).
- b. Es finden sich Unterschiede in der mentalen Strukturierung zwischen Experten, Fortgeschrittenen und Anfängern. Die Strukturierung mentaler Repräsentationen nähert sich mit steigendem Expertiseniveau einem funktionalen individuellen Optimum an (U1, U2).
- c. Die strukturelle Fächerung mentaler Repräsentationen und die Struktur von Bewegungshandlungen mit verstärktem sensomotorischen Bezug stehen in einem statistisch nachweisbaren Zusammenhang. Charakteristische repräsentationsgebundene Besonderheiten in der Bewegungsausführung lassen sich über die beobachtbare Bewegungsausführung belegen (U 1).
- d. Lernbedingte Veränderung der Bewegungsausführung bei dieser Klasse von Bewegungen sind auch über Veränderungen der strukturellen mentalen Repräsentation nachweisbar (U2).

- e. Die Verarbeitung von Wissensbeständen mit einem bewegungsrelevanten Bezug steht in einem Zusammenhang mit kortikaler Aktivierung (U3).
- f. Die hierarchische Zuordnung von Bewegungswissen findet ein kortikales Korrelat (U4).
- g. Unterschiedliche Modalitäten der Repräsentation sind mit unterschiedlichen Aktivierungen gekoppelt. (U4)
- h. Es kann angenommen werden, dass die Struktur mentaler Repräsentation anforderungsabhängig variiert.
- i. Die Validität der SDA-M Methode konnte auch für den sportpraktischen Bereich Schwimmen belegt werden. (U1, U2, U4)

Die oben aufgeführten Befunde unterstützen die von Schack (2002) gefundenen Ergebnisse bezüglich der Repräsentationsannahmen von Bewegungshandlungen. Sie erweitern diese durch die in dieser Arbeit ermittelten psychophysiologischen Befunde und stellen einen Zusammenhang mit kortikalen Korrelaten bei der Verarbeitung von Bewegungswissen her. Sie liefern damit auch weitere Beweise für eine sensorisch bestimmte Tiefenstruktur mentaler Repräsentationen. So konnten die Studien / Untersuchungen zeigen, dass eine effektbezogene, reafferent ausgerichtete Repräsentation mit steigendem Experteniveau sich einer effektiven Funktionalität annähert. Somit kann eine Verbindung geschaffen werden zwischen den verschiedenen Ebenen der kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen, neuroanatomischen Strukturen und psychophysiologischen Korrelaten. Es konnte dabei gezeigt werden, dass die Struktur mentaler Repräsentationen sich auf der Ebene der mentalen Repräsentation (III. Ebene) nach Experten und Fortgeschrittenen differenzieren lassen. Eine Verortung dieser Strukturen wäre in Bereichen des Motorkortex, Hippocampus, Basalganglien, Thalamus und Cerebellum anzusiedeln. Eine Verbindung mit dem sensomotorischen Kortex scheint hier wahrscheinlich. Interessant stellt sich hier die Vernetzung der einzelnen Strukturen dar. Eine lernbasierte Veränderung der MR bezüglich der Bewegungskopplung wäre dabei im Cerebellum und den Basalganglien zu verorten. Das Cerebellum und die Basalganglien sind an der räumlich-zeitlichen Gliederung von Bewegungen beteiligt (Konczak, 2002; Latash, 2008). Hier wird nach dem Modell der hierarchischen Struktur mentaler Bewegungsrepräsentation die Phasenintegration geleistet und auch das Gesamtproblem (der Bewegungsaufgabe) gelöst (vgl. Abschnitt 2.3.2). Die

Ergebnisse der vorliegenden Arbeit belegen, dass sich eine Veränderung der räumlich-zeitliche Gliederung von Bewegungshandlungen mit der SDA-M erfassen lassen. Besonders interessant stellt sich die Tatsache dar, dass über verschiedene Modalitäten die gleiche Repräsentation angesprochen wird. Dieses legt nahe, dass das Format der Repräsentation amodal ist und über verschiedene Wege angesprochen und damit auch verändert werden kann.

8.2 Empirische Aufgaben

Zahlreiche Untersuchungen zu mentalen Repräsentationen von Bewegungshandlungen existieren bereits (Schack, 2002). Doch es besteht in diesem Bereich noch Forschungsbedarf. So ist die Sportart Schwimmen bisher noch nie derart betrachtet worden. Mit der vorliegenden Arbeit wurde der Bestand an Untersuchungen zur mentalen Repräsentationen im Schwimmen erweitert. Das Forschungsfeld Schwimmen zeigt sich als ein breites Feld, in dem kognitionswissenschaftliche Untersuchungen bislang noch nicht viel Raum gefunden haben. Aus diesem Grund bieten sich hier weitere Forschungsvorhaben an, die unter kognitionswissenschaftlicher Prämisse das Forschungsfeld voranbringen könnten.

Die Ergebnisse und Befunde der vorliegenden Arbeit lassen wesentliche Aussagen zum Forschungsbereich der kognitiven Kontrolle vor dem Hintergrund struktureller und funktioneller Bewegungshandlungen zu. Bei der Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse wird deutlich, dass sich für künftige Forschungsfragen zwei grundlegende Felder eröffnen. Auf der einen Seite eröffnen sich Fragen mit sportpraktischem Bezug, auf der anderen Seite mit kognitionswissenschaftlichem Bezug.

a) Untersuchungen mit primär sportpraktischen Hintergrund

In der vorliegenden Untersuchung wurden grundsätzliche Veränderungen der Strukturen mentaler Repräsentationen nach lernbasierter Intervention betrachtet (U2). Hier erscheint eine Überprüfung der bestehenden Lehrmethodik in Hinblick auf Effektivität sinnvoll. So könnte die SDA-M helfen, effektive Lehrmethoden zu differenzieren und mit einem besonderen Prädikat (z.B. Effektivität) zu versehen. Weiter ließen sich in diesem Zusammenhang die Veränderungen der Struktur mentaler Repräsentation und die daran beteiligten kortikalen Areale ermitteln, ebenso die beobachtbare Qualität der Bewegungsausführung.

So wie die oben aufgeführte empirische Aufgabe darstellt, käme eine weitere hinzu. So erscheint eine empirische Überprüfung des mentalen Trainings als ein lohnenswerter Beitrag

zum Sachstand. Auch hier steht der statistische Vergleich zu den aktuellen Lehrmethoden an. So ist eine Überprüfung des Lerneffekts bei mentalem Training längst überfällig.

b) Untersuchungen mit primär kognitionswissenschaftlichen Hintergrund

Aus kognitionswissenschaftlicher Sicht ergeben sich einige empirische Aufgaben, die es zu lösen gilt. So stellt sich die Frage, wie die Aktivierung tiefer liegender Strukturen bei der Verarbeitung bewegungsbezogener Stimulusmaterialien erfolgt. Hier steht die Frage im Raum, welche Strukturen bei der Verarbeitung kooperieren.

Nach Schack (2002) ist eine eindeutige Trennung von deklarativen und prozeduralen Wissensbeständen nicht möglich und sinnvoll. Diese Tatsache sollte sich auch in einer Untersuchung der tiefer liegenden Hirnstrukturen niederschlagen. Ebenso könnte eine solche Untersuchung Aufschluss über Vorgänge der Merkmalsintegration geben, was einen hohen Stellenwert für die Implementierung der BACs in bestehende Theorien der kognitiven und neuronalen Kontrolle und Steuerung von Bewegung hätte.

8.3 Praktische Konsequenzen

Auf der Basis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können weit reichende Konsequenzen für die Sportpraxis aufgedeckt werden. Mit der Strukturdimensionalen Analyse Motorik steht ein Diagnosetool zur Verfügung, das seinen Einsatz auch gerade auf der praktischen Seite der Sportarten finden könnte. Als valide Untersuchungsmethode hätten Trainer die Möglichkeit, mit dieser Methode die mentale Bewegungsrepräsentation spezifischer Bewegungshandlungen zu diagnostizieren und könnten so an geeigneter Stelle intervenieren. So kann der Trainer eben nicht nur von der phänotypischen Erscheinungsform einer Bewegung intervenieren, sondern auch von der Seite der mentalen Repräsentation. Besonders bei Sportarten, in denen die direkte Kommunikation zwischen Trainer und Sportler eingeschränkt möglich ist, scheint diese Methode als eine sinnvolle Erweiterung des Methodenarsenals für die Verbesserung bewegungstechnischer Fertigkeiten. Gerade in der Sportart Schwimmen scheint hier ein besonders hoher Nachholbedarf zu liegen. Ein Vergleich mit der Weltspitze offenbart den Arbeitsbereich. So stellen Graumnitz und Küchler (2006) nach der Analyse der XI Weltmeisterschaften im Schwimmen in Montreal fest, dass wichtige Leistungsreserven der deutschen Schwimmer im Bereich der Optimierung des Schwimmzyklus (aller Schwimmarten) liegen. Ähnliches ließ sich bereits zehn Jahre zuvor

nach den olympischen Spielen in Atlanta feststellen (Leopold, 1997). Es zeigt sich also, dass hier ein sinnvolles Einsatzgebiet der SDA-M liegt.

So wäre es leicht möglich, die SDA-M in den Trainingsablauf zu implementieren. Die Ergebnisse könnten die Basis für ein gezieltes mentales Training zur Technikverbesserung liefern (Schack, 2006; Schack & Heinen, 2000). Aber auch in der Lehre der Sportarten ließe sich die SDA-M als Tool zur Lernstandskontrolle einsetzen. Lehrer, Übungsleiter und Trainer besitzen bei diesem Tool die direkte Kontrolle der Bewegungsrepräsentation, ohne den Einfluss von Störgrößen, die die Ausführung oder Kontrolle der Bewegung verändern.

Die oben gemachten Befunde legen nahe, dass mentale Repräsentationen über verschiedene Modalitäten unterschiedlich aktiviert werden können. Als Konsequenz aus den Ergebnissen ist eine multisensorische Lernbedingung wünschenswert. D.h., dass Bewegungsanweisungen mit dem Ziel, eine Bewegungsrepräsentation aufzubauen oder zu verändern, über verschiedene Bedingungen realisiert werden sollten. So bieten Visualisierungen, Verbalisierungen, Symbole und Piktogramme eine gute Möglichkeit, Bewegungsabläufe zu verdeutlichen. Es liegt aber auch nahe, dass sensorische Rückmeldung, wie Druck (z.B. an den antriebswirksamen Flächen beim Schwimmen) oder einzusetzende Kraft bei der Formung einer Bewegungshandlung helfen können.

Daher sollen hier einige anwendungsbezogene Forderungen formuliert werden:

- a. Implementierung der SDA-M in den Trainingsablauf.
- b. Implementierung von mentalem Training mit den aus der SDA-M gewonnenen Daten.
- c. Multisensorische / Multimodale Bewegungsanweisungen.
- d. Lernkonsequenz über verschiedene Ansätze zum Bewegungsfeintraining 1. mentales Training (Schack). 2. Bewegungen verbalisieren wg. gleichem Zugriff auf mentale Repräsentation 3. Bewegungsausführung mit sensorisch verstärkter Rückmeldung – für Schwimmen z.B. angebundenes Schwimmen. 4. Kombination aus Bewegungsausführung und Bewegung verbalisieren.
- e. Trainingsmethodische Konsequenzen für die Implementierung von Trainingsformen zur Entwicklung von Bewegungsgefühl und verstärktes sensorisches Umgehen mit dem Medium.

9 Zusammenfassung der Arbeit

Zentrales Ziel der Arbeit war es, mentale Repräsentationen von Bewegungshandlungen näher zu betrachten. Objekt der Betrachtung waren schwimmsportliche Bewegungen und deren Repräsentation. Dabei wurden vier Forschungsbereiche thematisiert. A) die Struktur mentaler Repräsentationen von Schwimmbewegungen. B) Lernbasierte Intervention im Schwimmsport und die Veränderung mentaler Repräsentationsstrukturen. C) Bewegungshandlungen und kortikale Aktivierung D) SDA-M und kortikale Aktivierung. Erstmals kam dabei die Verbindung der Strukturdimensionalen Analyse Motorik und der EKP-Methode zum Einsatz.

Interessanter Weise stellt sich die Tatsache dar, dass Untersuchungen mentaler Repräsentation im Zusammenhang mit Schwimmsport bislang kaum untersucht sind. Schwimmsportliche Bewegungen und kognitive Kontrolle wurden noch nie betrachtet. Bis auf die Darstellung von Berthold, Engel und Schack (2004) ist noch keine solche Untersuchung von Bewegungsrepräsentationen im Schwimmsport durchgeführt worden.

In einem ersten Schritt (Kapitel 2) war es notwendig, den theoretischen Hintergrund aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten. Aus neuroanatomischer Perspektive konnten Strukturen Aufgaben und Prozesse zugeordnet werden. Aus kognitionswissenschaftlicher Perspektive konnten Kontroll- und Steuerungsprozesse gegliedert werden. Dabei stellte der Ansatz von Schack (2002), *die kognitive Architektur von Bewegungshandlungen*, eine fundierte Basis dar. Zusammenfassend konnte anschließend ein Bezug zwischen der neuroanatomischen Struktur und der Struktur der kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen hergestellt werden. Die oben aufgeführten Forschungsbereiche sollten dann Klärung in die aufgeworfene Problematik bringen. Dazu wurden vier Studien durchgeführt:

U1 Ziel der ersten Untersuchung war es, eine differentielle Analyse zur mentalen Repräsentation des Delfinschwimmens vorzulegen. Untersuchungsgegenstand war dabei die mentale Repräsentation des Delfinschwimmens bei Experten und bei Fortgeschrittenen. Über einen mehrstufigen Extraktionsprozess wurden zunächst die Untersuchungseinheiten (*BACs*) heraus differenziert. Über ein Expertenrating wurde aus den Untersuchungseinheiten eine Referenzstruktur gebildet, die sich an dem gängigen Technikleitbild zum Delfinschwimmen orientierte.

An einer Stichprobe von 30 Schwimmerinnen und Schwimmern konnte eine allgemeine und differenzielle Analyse durchgeführt werden. Dabei konnte für die Subgruppe der Experten eine funktional gegliederte Struktur gefunden werden, die sich auf statistisch gesicherter Ebene an einer zuvor im Expertenrating geformten Referenzstruktur orientiert. Die Struktur der Fortgeschrittenen erscheint dagegen nur in einigen Teilen funktional gegliedert. Vielmehr findet sich bei den Fortgeschrittenen eine wenig bzw. unzuweckmäßig strukturierte Repräsentation, die zu deutlich beobachtbaren Fehlern in der Bewegungsausführung führt.

Ferner kann festgestellt werden, dass beobachtbare Bewegungsausführungen in einem nachweisbaren Zusammenhang mit der entsprechenden mentalen Repräsentation stehen. So kann angenommen werden, dass die Kenntnis der mentalen Repräsentation dem Trainer im Schwimmsport die Möglichkeit eröffnet, mehrstufig an der Verbesserung des Experteniveaus zu arbeiten. Auf der einen Seite ist es denkbar, bestehende Fehler in der Bewegungsausführung über schwimmpraktische Übungen zu beseitigen. Weiterhin kann durch ein gezieltes mentales Training die mentale Repräsentation der Bewegung verbessert werden. Ebenso ist auch eine Entwicklung vom Fortgeschrittenen zum Bewegungsexperten möglich. Untersuchungen, die in diesem Bereich für andere Sportarten bereits durchgeführt wurden, unterstützen diese Vermutungen (Heinen, 2005).

Die vorliegenden Ergebnisse fügen sich in das Modell der kognitiven Architektur von Schack (2002) ein. Aus theoretischer Sicht wird die dritte Ebene (Ebene mentaler Repräsentationen) berührt. Die Struktur und Dimensionierung mentaler Repräsentation im LZG von Experten und Fortgeschrittenen differenziert sich in unterschiedlicher Art und Weise auf dieser Ebene aus und steht vermutlich mit entsprechenden, aufgabenrelevanten sensomotorischen Repräsentationen in Zusammenhang, welche sich ihrerseits über die Ebene der sensomotorischen Kontrolle bei der späteren Bewegungsausführung in entsprechend funktionale (Experten) oder optimierbare (Fortgeschrittene) Bewegungslösungen umsetzen.

So wie sich die Ergebnisse der Untersuchung des Delfinschwimmens darstellen, wird ein Blick auf eine lernbedingte Veränderung mentaler Repräsentationen im Schwimmen interessant sein. Unter der Berücksichtigung der Ergebnisse aus der ersten Untersuchung und der sich daraus ergebenden Unterschiede der Fortgeschrittenen und der Experten wird im nächsten Schritt der Frage nachgegangen, ob die Struktur der mentalen Repräsentation durch eine praktische lehrbasierte Intervention verändert werden kann?

U2 Ziel der zweiten Untersuchung war es, eine differentielle Analyse zur mentalen Repräsentation der Kraularmbewegung und ihre lernbedingte Veränderung zu betrachten. Untersuchungsgegenstand war dabei die Veränderung der mentalen Repräsentation der Kraularmbewegung bei Studierenden, zu Beginn und nach absolviertem Schwimmkurs mit dem Inhalt Kraulschwimmen. Über einen mehrstufigen Extraktionsprozess wurden zunächst die Untersuchungseinheiten (BACs) heraus differenziert. Über ein Expertenrating wurde aus den Untersuchungseinheiten eine Referenzstruktur gebildet, die sich an dem gängigen Technikleitbild zur Kraularmbewegung orientierte.

An einer Stichprobe von 20 Studierenden und 15 Schwimmern konnte eine allgemeine und differenzielle Analyse durchgeführt werden. Dabei fand sich bei den Anfängern zu Beginn des Schwimmkurses keine gegliederte Struktur der mentalen Repräsentation, die eine funktionale Kopplung zulässt. Zur Referenzstruktur konnte keine Ähnlichkeit festgestellt werden. Nach lernbasierter Intervention über ein Studiensemester näherte sich die Struktur der mentalen Repräsentation der Referenzstruktur an, so dass eine Ähnlichkeit zur Referenzstruktur statistisch nachgewiesen werden konnte. Die Absolventen des Schwimmkurses wiesen am Ende des Studiensemesters eine funktional gegliederte Struktur. Eine Besonderheit trat bei den Ergebnissen der untersuchten Gruppe der Schwimmer auf. Sie hatten statisch die größte Ähnlichkeit zur Referenzstruktur. Allerdings war die Struktur der Studierenden zu Beginn des Semesters der Struktur der Schwimmer ähnlicher als am Ende des Semesters. Besonderheiten der individuellen Entwicklung und Anforderungen im Leistungssport Schwimmen geben hier die Begründung für die Ergebnisse.

So kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass beobachtbare Bewegungsausführungen im Zusammenhang mit der entsprechenden mentalen Repräsentation stehen. Mit Hilfe lernbasierter Intervention kann die Bewegungsausführung sowie die entsprechende mentale Repräsentation verändert bzw. verbessert werden.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass lernbasierte Intervention auf praktischer und mentaler Ebene Veränderungen hervorrufen. Besonders spezielles Wissen, wie z.B. die Kopplung von Körperteilbewegungen hin zu einer ökonomischen oder situationsangebrachten Bewegungstechnik, wird bei einer lernbasierten Intervention von Schwimmanfänger mit einigen Grundlagen zum Fortgeschrittenen entwickelt. Man kann daher davon ausgehen, dass auf kortikaler Ebene eine Umorganisation der entsprechenden Areale stattfindet.

Zur Eingliederung in einem größeren Rahmen bietet sich hier wiederum das Model der kognitiven Architektur an (Schack, 2002). So greift die lernbasierte Intervention auf der

dritten Ebene dieses Modell an. Hier werden im LZG gezielte Veränderungen der Struktur und der Dimensionierung bewusst hervorgerufen. Durch eine angenommene Korrespondenz der Ebene der mentalen Repräsentationen mit der Ebene der sensomotorischen Kontrolle sind auch Veränderungen der sensomotorischen Kopplung wahrscheinlich, welche sich in der späteren Bewegungsausführung manifestieren.

Auf Grundlage der bisher erlangten Ergebnisse stellt sich die Frage, ob dieses spezielle Wissen überhaupt vom allgemeinen Wissen unterscheidbar ist? Welche kortikale Reaktion ruft die Verarbeitung von speziellem Wissen hervor?

Daher sollte die nachfolgende Untersuchung im Zeichen der kortikalen Verarbeitung von speziellen Wissensbeständen stehen.

U3 Ziel der dritten Untersuchung war es, die kortikalen Vorgänge während der Evaluation von bewegungsbezogenen Stimulusmaterial zu betrachten. Dazu wurde Stimulusmaterial mit Hilfe von Experten (Dozenten der Universität Düsseldorf und der Deutsche Sporthochschule Köln) zu allgemeinen Wissensbeständen (Flora der heimischen Natur) und speziellen bewegungsbezogenen Wissensbeständen (schwimmsportliche Bewegungen) gewonnen. In zwei Experimenten wurden die physiologischen Maße zu den verschiedenen Stimulusgruppen gewonnen und anschließend miteinander verglichen.

So war es möglich, mit den Ergebnissen der Reaktionszeitmessung in beiden Experimenten einen Symboldistanz- Effekt nachzuweisen. Die abgeleiteten Gehirnströme gaben einen P3 Effekt für beide Experimente wieder. Ein Unterschied fand sich bei der Verarbeitung der Stimulusmaterialien an der P4 Elektrode. Dieses bedeutet, dass bei der Verarbeitung von kategorial unterschiedlichen Stimulusmaterialien eine Unterscheidung bezüglich der Aktivierung der an der Verarbeitung beteiligten Areale zu treffen ist. Die gemessene Aktivität an der P4 Elektrode kann mit einer Aktivität des hinteren Scheitellappens, der bei komplexer Raum- und Bewegungsorientierung aktiv ist, assoziiert werden.

Eine Eingliederung in Schacks Model der kognitiven Architektur soll auch hier erfolgen. Dabei wird im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen nicht nur auf die dritte Ebene der Speicherung der Struktur und Dimensionierung mentaler Repräsentation fokussiert, sondern, wie die oben aufgeführten Ergebnisse zeigen, auch auf die zweite Ebene, der Ebene der sensomotorischen Repräsentation. Sportartspezifische Stimulusmaterialien, welche spezifische mentale Repräsentationen antriggern, greifen auf funktionale sensomotorische Repräsentationen zurück, welche mit den genannten mentalen Repräsentationen funktional in

Verbindung stehen. Die oben gefundenen Ergebnisse werden von neueren fMRI und PET Studien gestützt (Decety & Grezes, 2006; Jackson & Decety, 2004; Ruby & Decety, 2001).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Oddball-Paradigma bewegungsbezogene von allgemeinen Stimulusmaterialien unterschieden werden können. Somit ist eine Abgrenzung der Wissensbestände voneinander möglich. Als Konsequenz dieser Untersuchung soll in der nachfolgenden Untersuchung im Splitparadigma unterschiedliche Stimulusmaterialien getestet werden, die das gleiche bezeichnen (begrifflich vs. bildhaft).

U4 Das Ziel der vierten Untersuchung war die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Verarbeitung unterschiedlicher Stimulusmaterialien und der Struktur zugrunde liegender mentaler Repräsentationen. Dazu wurde mit Hilfe der SDA-M die Struktur der mentalen Repräsentation ermittelt. Synchron dazu wurde ein EEG abgeleitet, aus dem Ereigniskorrelierte Potentiale differenziert wurden. Als Stimulusmaterial wurden BACs des Delfinschwimmens in Form von Bild- und Wortmarken verwendet.

Die Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse gaben ein überraschendes Bild wieder. Unabhängig von der Art des Stimulusmaterials konnten mittels SDA-M die gleichen Clusterlösungen quantifiziert werden. Die Ergebnisse der elektrophysiologischen Maße gaben hingegen ein anderes Bild wieder. Die Verarbeitung der Stimulusmaterialien unterscheidet sich dabei signifikant. Dieses wird durch die Ergebnisse der Reaktionszeiten untermauert. Ebenso besteht innerhalb der Stimulusmaterialien ein signifikanter Unterschied in der elektrophysiologischen Ableitung des frontalen Bereich bei der Zuordnung „nah“ und „fern“.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die hier gefundenen Ergebnisse einen amodalen Ansatz der Repräsentation bewegungsbasierten Wissensbestände unterstützen. Dabei scheinen die BACs eine korrespondierende Funktion zu übernehmen. Sie sind in ihren Eigenschaften nicht nur Merkmalsträger abstrakter Eckpunkte eines Bewegungsgefüges, sondern korrespondieren gleichzeitig mit begrifflichen abstrakten Informationen sowie bildhaft anschaulichen Informationen. Dieses kann unmittelbar durch die Ergebnisse der SDA-M und der Analyse der EKPs belegt werden. Das unterschiedliche Stimulusmaterial wird kortikal unterschiedlich enkodiert und bildet dennoch ein und dieselbe mentale Repräsentation ab. Hier werden beispielsweise Anknüpfungspunkte an den Ansatz des *common codings* (Prinz, 2002, 2003) offensichtlich.

Bei der Einarbeitung der Ergebnisse der letzten Untersuchung in das Model von Schack (2002) wird deutlich, dass Repräsentationen unterschiedlicher Modalität offenbar Bezug zur gleichen mentalen Repräsentationen nehmen können. Damit werden nach Schacks Model die

Ebenen II und III von den hier gezeigten Ergebnissen berührt. Funktional unterschiedliche sensomotorische Repräsentationen stehen offenbar im Sinne des Prinzips einer funktionalen Äquivalenz in Bezug zu gleichen mentalen Repräsentationsstrukturen.

Durch die differenzierte Diskussion in dieser Arbeit wird es möglich Bezüge zwischen den theoretischen Ausgangspunkt und den empirischen Befunden herzustellen. Es liegen damit Befunde über die Verortung von Bewegungsrepräsentationen vor so deren psychophysiologische Verarbeitung. Somit gelang es zum ersten Mal kognitive Prozesse (im Sinne der kortikalen Aktivierung) und modelltheoretische Annahmen zur mentalen (Bewegungs-)Repräsentation zusammenzubringen.

Literatur

- Adams, J. A., & Dijkstra, S. J. (1966). Short term memory for motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, 71, 314-318.
- American-Electroencephalographic-Society. (1991). American electroencephalographic society guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 8, 200-202.
- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Annett, J. (1995). Motor imagery: Perception or action? *Neuropsychologia*, 33(11), 1395-1417.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Schuchard-Fischer, C., & Weiber, R. (1987). *Multivariate Analysemethoden*. (Vol. 4). Heidelberg: Springer.
- Baddeley, A. D. (1995). The psychology of memory. In A. D. Baddeley, A. Willson & F. N. Watts (Eds.), *Handbook of Memory Disorders* (pp. 3-25). Chichester: Wiley.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 5-28.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8). London: Academic Press.
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1974). Word length and structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 575-589.
- Ballreich, R. (1996). *Grundlagen der Biomechanik des Sports* (2. ed.). Stuttgart: Enke.
- Basar, E., & Roth, G. (1996). Ordnung aus dem Chaos: Kooperative Gehirnprozesse bei kognitiven Leistungen. In G. Küppers (Ed.), *Chaos und Ordnung: Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft* (pp. 290-322). Stuttgart: Philipp Reclam jun.
- Berger, H. (1929). Über das Elektroencephalogramm des Menschen. *Mitteilung Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 87, 527-570.
- Bernstein, N. A. (1967). *The coordination and regulation of movement*. London: Pergamon Press.
- Bernstein, N. A. (1975). *Bewegungsphysiologie*. Leipzig: Barth.
- Berthold, J., Engel, W., & Schack, T. (2004). Untersuchungen zur Erfassung mentaler Bewegungsrepräsentationen im Schwimmsport. In O. Stoll & A. Lau (Eds.), *Belastung und Beanspruchung (Abstractband zur 36. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (asp) vom 20.-22. Mai 2004)* (pp. 79-80). Halle: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

- Berti, S. (2001). Bewegung und Arbeitsgedächtnis - Ein methodischer Ansatz. In J. R. Nitsch & H. Allmer (Eds.), *Denken - Sprechen - Bewegen (Bericht über die 32. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (asp) vom 1. bis 3. Juni 2000 in Köln)* (pp. 164-167). Köln: bps.
- Beyer, L., & Pöhlmann, R. (1994). Modellierung des motorischen Verhaltens - Hard und Software aus neurobiologischer Sicht. In P. Hirtz, G. Kirchner & R. Pöhlmann (Eds.), *Sportmotorik. Grundlagen, Anwendungen und Grenzgebiete.* (Vol. 22, pp. 55-92). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Beyer, L., Weiss, T., Hansen, E., Wolf, A., & Seidel, A. (1990). Dynamics of central nervous activation during motor imagination. *International Journal of Psychophysiology*, 9, 75-80.
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. A. (2004). *Biologische Psychologie* (5. ed.). Berlin: Springer.
- Birklbauer, J. (2006). *Modelle der Motorik*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Boksem, M. A., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Brain Res Cogn Brain Res*, 25(1), 107-116.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. (5. ed.). Heidelberg: Springer.
- Braitenberg, V. (1994). Wie kommen Ideen ins Gehirn? In V. Braitenberg & I. Hops (Eds.), *Evolution*. Reinbek: Rowohlt.
- Brodmann, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig.
- Buchner, A. (2003). Funktionen und Modelle des Gedächtnisses. In H.-O. Karnath & P. Thier (Eds.), *Neuropsychologie* (pp. 453-465). Berlin Heidelberg: Springer.
- Buchner, A., & Brandt, M. (2002). Gedächtniskonzeption und Wissensrepräsentation. In J. Müsseler & W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (pp. 493-543). Heidelberg: Spektrum.
- Campanella, S., Quinet, P., Bruyer, R., Crommelinck, M., & Guerit, J. M. (2002). Categorical perception of happiness and fear facial expressions: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(2), 210-227.
- Campbell, N. A. (1997). *Biologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Carlson, N. R. (2004). *Pysiologische Psychologie* (8. ed.). München: Pearson.
- Caton, R. (1875). The electric currents of brain. *Brit. Medical Journal*, 2, 278.
- Cohen, J. D., Dunbar, K., & McClelland, J. L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed account of the stroop effect. *Psychological Review*, 97(3), 332-361.
- Coles, M. G. H., Gratton, G., & Fabiani, M. (1990). Event-related brain potentials. In J. T. Cacioppo & L. G. Tassinary (Eds.), *Principles of psychophysiology: Physical, Social and Inferential Elements*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Coles, M. G. H., & Rugg, M. D. (1995). Event-related brain potentials: An introduction. In M. G. H. Coles & M. D. Rugg (Eds.), *Electrophysiology of Mind* (pp. 1-25). Oxford: University Press.
- Colwin, C. M. (2002). *Breakthrough Swimming*. Champaign: Human Kinetics.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework of memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, *11*, 671-684.
- Cremades, J. (2002). The effects of imagery perspective as a function of skill level on alpha activity. *International Journal of Psychophysiology*, *43*, 261-271.
- Cserépy, S., Bissig, M., & Gröbli, C. (2002). *Schwimm Welt. Schwimmen lernen - Schwimmtechnik optimieren*. Bern: Schulverlag.
- Decety, J. (1995). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioural Brain Research*, *77*, 45-52.
- Decety, J., & Grezes, J. (2006). The power of simulation: Imagining one's own and other's behavior. *Brain research*, *1079*, 4-14.
- Dehaene, S. (1996). Electrophysiological evidence for category-specific word processing in the normal human brain. *Neuroreport*, *6*, 2153-2157.
- DeMont, R. (2001). Freestyle technique. In D. Hannula & N. Thornton (Eds.), *The Swim Coaching Bible*. Champaign: Human Kinetics.
- DeRosa, D. V., & Tkacz, S. (1976). Memory scanning of organised visual material. *Journal of Experimental Psychology*, *2*(6), 688-694.
- Donchin, E. (1981). Surprise!... Surprise? *Psychophysiology*, *18*, 493-513.
- Ducan-Johnson, C., & Donchin, E. (1977). On quantifying surprise: The variation of event-related potentials with subjective processing. *Psychophysiology*, *14*, 456.
- Ducan-Johnson, C., & Donchin, E. (1982). The P300 component of event-related brain potentials as an index of information processing. *Biological Psychology*, *14*, 1-52.
- Ebe, M., & Homma, I. (2002). *Leitfaden für die EEG-Praxis* (3. ed.). München: Urban & Fischer.
- Eberspächer, H. (2007). *Mentales Training* (7. ed.). München: Copress.
- Elsner, B., & Prinz, W. (2003). Psychologische Modelle der Handlungssteuerung. In H.-O. Karnath & P. Thier (Eds.), *Neuropsychologie* (pp. 299-347). Berlin: Springer.
- Engel, W. (1996). *Der Zusammenhang zwischen Schwimmgeschwindigkeit und ausgewählter Vortriebsmuskulatur des Brustschwimmens*. Unpublished Diplomarbeit, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln.
- Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen: Hogrefe.

- Eysenck, M. W., & Keane, M. (2000). *Cognitive Psychology. A Student's Handbook*. New York: Psychology Press.
- Fodor, J. (1983). *The Modularity of Mind. An Essay on Faculty Psychology*. Cambridge: MIT Press.
- Frank, G. (2002). *Koordinative Fähigkeiten im Schwimmen. Der Schlüssel zur perfekten Technik*. (3. ed.). Schorndorf: Hofmann.
- Friederici, A. (2003). Neurobiologische Grundlagen der Sprache. In H.-O. Karnath & P. Thier (Eds.), *Neuropsychologie* (pp. 367-377). Berlin: Springer.
- Friederici, A., Pfeifer, E., & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological syntactic violations. *Cognitive Brain Research*, *1*, 183-192.
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, *11*, 501-518.
- Gratton, G., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *55*, 468-484.
- Graumnitz, J., & Kuchler, J. (2006). Ergebnisse aus einer Wettkampfbeobachtung bei den XI. Weltmeisterschaften in Montreal 2005. *Schwimmen: Lernen und Optimieren*, *26*, 7-38.
- Haken, H. (1995). *Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken*. Reinbeck: rororo science.
- Hatfield, B. D., & Hillman, C. H. (2001). The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas & C. N. Janelle (Eds.), *Handbook of Sport Psychology* (2. ed., pp. 362-388). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Hegerl, U. (1998). *Neurophysiologische Untersuchungen in der Psychiatrie: EEG, EKP, Schlafpolygraphie, Motorik, autonome Funktionen*. Wien: Springer.
- Heinen, T. (2005). *Mentale Repräsentation und Kinematik von Bewegungen*. Unpublished Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln, Köln.
- Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a memory drum theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *31*, 448-458.
- Heuer, H. (1990). Psychomotorik. In H. Spada (Ed.), *Allgemeine Psychologie* (pp. 495-559). Bern: Huber.
- Heuer, H., & Konczak, J. (2003). Bewegungssteuerung - Bewegungskoordination. In H. Mechling & J. Munzert (Eds.), *Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre* (Vol. 141, pp. 105-129). Schorndorf: Hofmann.

- Hill, H., Ott, F., & Weisbrod, M. (2004). SOA-dependent N400 and P300 semantic priming effects using pseudoword primes and delayed lexical decision. *International Journal of Psychophysiology*, *56*, 209-221.
- Hillyard, S. A., & Kutas, M. (1983). Elektrophysiologie of cognitive processing. *Annual Reviews of Psychology*, *34*, 33-61.
- Hoffmann, J. (1986). *Die Welt der Begriffe*. Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Hoffrage, U., & Vitouch, O. (2002). Evolutionspsychologie des Denkens und Problemlösens. In J. Müssele & W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (pp. 735-794). Heidelberg: Spektrum.
- Hommel, B. (2002). Planung und exekutive Kontrolle von Handlungen. In J. Müssele & W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Hruby, T., & Marsalek, P. (2003). Event-related potentials - the P3 wave. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, *63*, 55-63.
- Huth, M. (2000). *Ein struktur- und dimensionsanalytischer Ansatz zur Erfassung und zum Vergleich begrifflich präsentierten Wissens im menschlichen Langzeitgedächtnis. Ein Beitrag zur differentiellen Analyse von Wissensstrukturen*. Unpublished Dissertation, Universität Leipzig.
- Jackson, P. L., & Decety, J. (2004). Motor cognition: A paradigm to study self-other interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, *14*, 259-263.
- Jäncke, L. (2003). Hirnanatomische Asymetrien. In H.-O. Karnath & P. Thier (Eds.), *Neuropsychologie* (pp. 625-634). Berlin: Springer.
- Jasper, H. H. (1958). The ten twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *10*, 371-375.
- Jeannerod, M. (1994). Neural correlates of motor intention and imagery. *The Behavioral and Brain Science*, *17*, 187-245.
- Jeannerod, M., & Biguer, B. (1982). Visuomotor mechanisma in reaching within extrapersonal space. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of Visual Behavior*. Cambridge: MIT Press.
- Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, *9*, 735-739.
- Johnson, J. (1989). Auditory and visuall P300s in temporal lobectomy patients: evidence for modality-dependent generators. *Psychophysiology*, *26*, 633-650.
- Kelso, J. A. S. (1997a). *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. Cambridge: MIT Press.
- Kelso, J. A. S. (1997b). Relative timing in brain and behaviour. *Human Movement Science*, *16*, 453-460.

- Kischka, U., Wallesch, C.-W., & Wolf, G. (1997). *Methoden der Hirnforschung: Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Klauck, J. (1982). Bewegung und Aufenthalt im Wasser - biomechanische Betrachtungen. In G. Volk (Ed.), *Schwimmen in der Schule* (Vol. 2, pp. 86-114). Schorndorf: Hofmann.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (1980). *Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz*. Berlin: Verlag der Wissenschaft.
- Klix, F. (1984). Denken und Gedächtnis - über die Wechselwirkung kognitiver Kompartments bei der Erzeugung geistiger Leistungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 192(3), 214-244.
- Klostermann, F., Wahl, M., Marzinzik, F., Schneider, G.-H., Kupsch, H., & Curio, G. (2006). Mental chronometry of target detection: Human thalamus leads cortex. *Brain*, 129, 923-931.
- Knight, R. T. (1985). Electrophysiology in behavioral neurology. In M. M. Mesulam (Ed.), *Principles of Behavioral Neurology*. Philadelphia: FA Davis Co.
- Konczak, J. (2002). Motorische Kontrolle. In J. Müsseler & W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Konczak, J. (2003). Neurophysiologische Grundlagen der Motorik. In H. Mechling & J. Munzert (Eds.), *Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre* (Vol. 141, pp. 81-129). Schorndorf: Hofmann.
- Kording, K. P., & Wolpert, D. M. (2004). Bayesian integration in sensorimotor learning. *Nature*, 427(6971), 244-247.
- Körndle, H., & Narciss, S. (1993). Motorisches Lernen. In H. Eberspächer (Ed.), *Sportpsychologie. Grundlagen, Methoden, Analysen* (3. ed., pp. 149-170). Reinbeck: Rowohlt.
- Krause, W. (2000). *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Göttingen: Hogrefe.
- Lander, H.-J. (2003). Strukturdimensionale Analyse von Begriffssystemen. In T. Schack, T. Heinen & F. Engel (Eds.), *Kognition und Bewegungssteuerung (Proceedings auf Multimedia CD zum gleichnamigen Symposium am 13.12.2002 an der Deutschen Sporthochschule Köln)*. Köln: MRI.
- Lander, H.-J., & Huth, M. (1999). Ein Verfahren zur Ermittlung der Strukturierung und Dimensionierung begrifflich repräsentierten Wissens im Langzeitgedächtnis. In E. Witruk & H. J. Lander (Eds.), *Informationsverarbeitungsanalysen. Kognitionspsychologische und methodische Beiträge*. Leipzig: Universitätsverlag.
- Lander, H.-J., & Lange, K. (1992). Eine differentialpsychologische Analyse begrifflich-strukturierten Wissens. *Zeitschrift für Psychologie*, 200, 181-197.

- Lang, S., Kotchoubey, B., Lutz, A., & Birbaumer, N. (1997). Was tut man, wenn man nichts tut? Kognitive EKP-Komponenten ohne kognitive Aufgabe. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, *XLIV*(1), 138-162.
- Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological Basis of Movement*. Champaign: Human Kinetics.
- Leopold, W. (1997). Olympische Schwimmwettkämpfe 1996: Eine Ergebnisbetrachtung und Folgerungen. *Schwimmen: Lernen und optimieren*, *13*, 114-158.
- Leuschner, D. (1974). *Einführung in die numerische Taxonomie*. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Lippens, V. (2003). Subjektives Empfinden und objektives Messen in Lern- und Optimierungsprozessen. In H. Mechling & J. Munzert (Eds.), *Handbuch Bewegungswissenschaft - Bewegungslehre* (pp. 295-312). Schorndorf: Hofmann.
- Lippens, V. (2004). Ist die "Innensicht" out? Zur Rekonstruktion der Eigensicht beim Bewegen. *LSB*, *45*, 1-16.
- Luck, S. J., Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in Cognitive Science*, *4*(11), 432-440.
- Luria, A. R. (1973). *The Working Brain: An Introduction to Neuropsychology*. New York: Basic Books.
- Lutzenberger, W., Elbert, T., Rockstroh, B., & Birbaumer, N. (1985). *Das EEG. Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierte Potentiale*. Berlin: Springer.
- Magill, R. A. (2007). *Motor Learning and Control. Concepts and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Champaign: Human Kinetics.
- Markowitsch, H. J. (2002). *Dem Gedächtnis auf der Spur: Vom Erinnern und Vergessen*. Darmstadt: Primus-Verlag.
- McDowell, K., Kerick, S., Santa Maria, D., & Hatfield, B. (2002). Aging, physical activity, and cognitive processing: An examination of P300. *Neurobiology of Aging*, *24*, 597-606.
- Mechau, D. (2001). *EEG im Sport- Kortikale Aktivität im topographischen EEG durch sportliche Beanspruchung*. Schorndorf: Hoffmann.
- Mechner, F., Kerzel, D., Knoblich, G., & Prinz, W. (2001). Perceptual Basis of bimanual coordination. *Nature*, *414*, 69-73.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (1998). *Bewegungslehre - Sportmotorik* (9. ed.). Berlin: Sportverlag.
- Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven Plus or Minus Two. *Psychological Review*, *36*, 81-97.

- Munzert, J. (2001). Vorstellung und Bewegung. In J. R. Nitsch & H. Allmer (Eds.), *Denken - Sprechen - Bewegen. (Bericht über die 32. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (asp) vom 1. bis 3. Juni 2000 in Köln)* (pp. 41-57). Köln: bps.
- Näätänen. (1987). Event-related brain potentials in research of cognitive processes - A classification of components. In E. v. d. Meer & J. Hoffmann (Eds.), *Knowledge Aided Information Processing*. Amsterdam: Elsevier.
- Narciss, S. (1993). *Empirische Untersuchungen zur kognitiven Repräsentation bewegungsstruktureller Merkmale. Ein wissenspsychologischer Ansatz zur theoretischen Fundierung des Mentalen Trainings*. Heidelberg: Universität Heidelberg.
- Neundörfer, B. (2002). *EEG-Fibel: Das EEG in der ärztlichen Praxis* (5. ed.). München: Urban & Fischer.
- Nicholls, J., Martin, R., & Wallace, B. (2002). *Vom Neuron zum Gehirn*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- O'Donnell, B. F., Friedmann, S., Swearer, J. M., & Drachmann, D. A. (1992). Active and passive P3 latency and psychometric performance: Influence of age and individual differences. *International Journal of Psychophysiology*, 12, 187-195.
- Osgood, C. E., & Suci, G. (1952). A measurement of relation determined by both mean difference and profile information. *Psychological Bulletin*, 49, 251-262.
- Perani, D., Fazio, F., Borghese, N. A., Tettamanti, M., Ferrari, S., Decety, J., et al. (2001). Different brain correlates for watching real and virtual hand actions. *Neuroimage*, 14, 749-758.
- Pfeifer, H. (Ed.). (1991). *Schwimmen*. Berlin: Sportverlag.
- Pickenhain, L. (1996). Holistischer Ansatz von Neuro- und Verhaltenswissenschaft im Sport. In U. Bartmus, H. Heck, J. Mester, H. Schumann & G. Tidow (Eds.), *Aspekte der Sinnes- und Neurophysiologie im Sport*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Pickenhain, L. (2003). Die neurowissenschaftlichen Grundlagen und der Zeitverlauf des menschlichen Gedächtnisses. *Sprache Stimme Gehör*, 27, 3-10.
- Pickenhain, L., Beyer, L., & Meischner, I. (1985). Neue Erkenntnisse zur Bewegungskoordination beim Menschen. *Medizin und Sport*, 25(8), 225-228.
- Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology : Official Publication of the American Electroencephalographic Society*, 9(4), 456-479.
- Poock, K., & Hacke, W. (2001). *Neurologie* (11. ed.). Berlin: Springer.
- Pöhlmann, R. (1994). *Motorisches Lernen - Bewegungsregulation, Psychomotorik, Rehabilitation*. Reinbek: Rowohlt.

- Polich, J. (1986). Attention, probability, and task demands as determinants of P300 latency from auditory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *63*, 187-195.
- Polich, J. (2003). *Theoretical Overview of P3a and P3b*. Boston: Kluwer Academic Press.
- Polich, J. (2004). Clinical application of the P300 event-related brain potential. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, *15*, 133-161.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128-2148.
- Popivanov, D., Dushanova, J., & Sauleva, Z. (2001). Nonlinear EEG dynamics during imagined self-paced movements. *Acta Physiologica & Pharmacologica Bulgarica*, *26*, 119-122.
- Prinz, W. (2002). Auf dem Weg zu einer ideomotorischen Handlungstheorie. In B. S. (Hrsg.) (Ed.), *Expertise im Sport* (Abstractband der 34. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie, 09.-11. Mai 2002 in Münster ed.). Köln: bps.
- Prinz, W. (2003). Experimental approaches to action. In J. Rössler & N. Eilan (Eds.), *Agency and Self-Awareness*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Pritchard, W. S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, *89*(3), 506-540.
- Ratey, J. J. (2004). *Das menschliche Gehirn: Eine Gebrauchsanweisung* (3. ed.). München: Piper.
- Reischle, K. (2000). *Schwimmen. Bewegungen lernen - Trainieren - Spielen*. Frankfurt a. Main: Diesterweg.
- Ritter, W., & Vaughan, H. G. (1969). Average evoked responses in vigilance and discrimination: A reassessment. *Science*, *164*, 326-328.
- Rösler, F., Bajric, J., Heil, M., Henninghausen, E., Niedeggen, T., Pechmann, T., et al. (1997). Gedächtnisspuren im EEG. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, *XLIV*(1), 4-37.
- Roth, G. (2001). *Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, *4*(5), 546-550.
- Sänger, J. (2007). *An Investigation of Preparatory Processes in the Task-switching Paradigm Using Event-Related Potentials*. Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Sänger, J. (persönliche Kommunikation, 25.11.2004). EEG-Einführung. München.
- Schack, T. (1999a). Mentale Strukturen im motorischen Lernprozeß-Zugänge zur kognitiven Architektur motorischen Könnens. In J. Krug & C. Hartmann (Eds.), *Praxisorientierte Bewegungslehre als angewandte Sportmotorik; Sport und Wissenschaft* (pp. 142-150). Sankt Augustin: Academia.

- Schack, T. (1999b). Relation of cognitive representation and performance in extreme-surfing. In I. Wachsmuth & B. Jung (Eds.), *KogWis99, Proceedings der 4. Fachtagung für Kognitionswissenschaft vom 28. September - 1. Oktober 1999 in Bielefeld* (pp. 207-212). Sankt Augustin: Infix.
- Schack, T. (2000). Experimental studies on the speed of information processing in sportsrelated memory. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 22, 49.
- Schack, T. (2001a). Differential-diagnostics of mental structures in motor-memory. In J. Mester, G. King, E. Tsolakidis & A. Osterburg (Eds.), *Proceedings of 6th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS)* (pp. 164). Cologne: ECSS.
- Schack, T. (2001b). Mental representation of movements in freestyle-ski alpin and skysurfing. In T. Arnold & C. S. Herrmann (Eds.), *Cognitive Systems & Mechanisms. Abstracts of the 5th Meeting of the German Cognitive Science Society* (pp. 98). Leipzig: Universitätsverlag.
- Schack, T. (2001c). On the structure of movement representations - theoretical assumptions and methodical approach. *Motor Control and Learning-E-Journal*, 1, 1-12.
- Schack, T. (2001d). Zugänge zu einer Kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen. In J. R. Nitsch & H. Allmer (Eds.), *Denken-Sprechen-Bewegen* (pp. 84-92). Köln: bps.
- Schack, T. (2002). *Zur kognitiven Architektur von Bewegungshandlungen - Modelltheoretischer Zugang und experimentelle Untersuchungen* -. Köln: unveröffentlichte Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia Legendi für das Fach Psychologie.
- Schack, T. (2006). Mentales Training. In M. Tietjens & B. Strauß (Eds.), *Handbuch Sportpsychologie* (Vol. 153, pp. 254-261). Schorndorf: Hofmann.
- Schack, T., & Heinen, T. (2000). Mental Training based on mental representation. In B. A. Carlsson, U. Johnson & F. Wetterstrand (Eds.), *Sport Psychology Conference in the New Millenium - a dynamic research practise perspective* - (pp. 333-337). Sweden: Halmstadt University.
- Schack, T., & Heinen, T. (2002). Zum Zusammenspiel mentaler Strukturen und kinematischer Parameter bei Rotationsbewegungen im Gerätturnen. In B. Strauß (Ed.), *Expertise im Sport*. Köln: bps.
- Schack, T., Heinen, T., & Randecker, R. (2001). Zur Mentalen Repräsentation von Rotationsbewegungen im Ski alpin / Freestyle. In J. R. Nitsch (Ed.), *Denken - Sprechen - Bewegen (Bericht über die 32. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (asp) vom 1. bis 3. Juni 2000 in Köln)* (pp. 148-153). Köln: bps.
- Schack, T., Kneehans, E., & Lander, H. J. (2001). Methodische Zugänge zur Struktur- Dimensionalen Analyse Mentaler Repräsentationen. In J. R. Nitsch (Ed.), *Denken - Sprechen - Bewegen (Bericht über die 32. Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (asp) vom 1. bis 3. Juni 2000 in Köln)* (pp. 144-148). Köln: bps.
- Schack, T., & Mechsner, F. (2006). Representation of motor skills in long-term memory. *Neuroscience Letters*, 391, 77-81.

- Scheele, B., & Groeben, N. (1988). *Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion subjektiver Theorien*. Tübingen: Francke.
- Scheerer, E. (1993). Mentale Repräsentation in interdisziplinärer Perspektive. *Zeitschrift für Psychologie*, 201, 136-166.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R. A. (1977). Schema theory: Implications for movement education. *Motor Skills: Theory Into Practice*, 2, 36-38.
- Schmidt, R. A. (1986). *Motor Control and Learning*. Champaign: Human Kinetics.
- Schnitzler, C., Seifert, L., Ernwein, V., & Chollet, D. (2008). Arm coordination adaptations assessment in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 29(6), 480-486.
- Schuck, H. (2001). *Bewegungsregulation im Schwimmen: Psychologisches Training*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Schulte, R. W. (1927). Grundfragen der Psychologie der Leibesübungen. In E. Neuendorff (Ed.), *Die deutschen Leibesübungen*. Berlin: Andermann.
- Schumann, H. (1996). Möglichkeiten und Grenzen der EEG-Diagnostik im Sport. In U. Bartmus, H. Heck, J. Mester, H. Schumann & G. Tidow (Eds.), *Aspekte de Sinnes- und Neurophysiologie im Sport* (pp. 73-118). Köln: Sport und Buch Stauß.
- Schwarz, M. (1996). *Einführung in die kognitive Linguistik* (2. ed.). Tübingen: Franke.
- Seelig, H. (2000). *Subjektive Theorien über Laborsituationen. Methodologien und Struktur subjektiver Konstruktionen von Sportstudierenden.*, Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg i.Br., Freiburg.
- Seifert, J. (2005). *Ereigniskorrelierte EEG-Aktivität*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Spikermann, M. (Ed.). (1993). *Krafttraining für Schwimmer*. Hildesheim: Gerstenberg.
- Spitzer, M. (2000). *Geist im Netz: Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Stegemann, J. (1991). *Leistungsphysiologie* (4. ed.). Stuttgart: Thieme.
- Strüder, H. K., Kinscherf, R., Diserens, K., & Weicker, H. (2001). Physiologie und Pathophysiologie der Basalganglien - Einfluss auf die Motorik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52(12), 350-360.
- Sutton, S., Baren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Thompson, T., Steffert, T., Ros, T., Leach, J., & Gruzelier, J. (2008). EEG applications for sport and performance. *Methods*, 45, 279-288.

- Tomasch, J. (1968). The overall information carrying capacity of the major afferent and efferent cerebellar cell and fiber system. *Confinia Neurologica*, 30, 359-367.
- Trimmel, M. (1990). *Angewandte und Experimentelle Neuropsychologie. Lehr- und Forschungstexte Psychologie*. Berlin: Springer.
- Verleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioural and Brain Science*, 11, 343-427.
- vonAue, H. (1992). *Iwein* (M. Wehrli, Trans. 2. ed.). Zürich: Manesse.
- Weigelt, M., Schack, T., & Kunde, W. (2007). Attentional focus effects highlight the role of mental representations in motor control. *E-Journal Bewegung und Training*, 1, 51-52.
- Weinberg, R. S., & Gould, D. (2003). *Foundation of Sport and Exercise Psychologie* (3. ed.). Champagne: Human Kinetics.
- Wiemeyer, J. (1994). *Innere Bewegungsrepräsentation: Grundlagen, Probleme und Perspektiven*. Köln: bps.
- Wiessner, K. (1950). *Natürlicher Schwimmunterricht* (4. ed.). Wien: Verlag für Jugend und Volk.
- Wilberg, R. B., & Salmela, J. (1973). Information load and response consistency in sequential short-term memory. *Perceptual and Motor Skills*, 37, 23-29.
- Wilke, K. (1994). *Anfängerschwimmen*. Reinbeck: Rowohlt.
- Wilke, K., & Daniel, K. (1996). *Schwimmen: Lernen, Üben, Trainieren*. Wiesbaden: Limpert.
- Wilke, K., & Madsen, O. (1997). *Das Training des jugendlichen Schwimmers* (3. ed.). Schorndorf: Hoffmann.
- Wirtz, W. (1996). *Apparative Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen kinematischen Verfahrens im Kraulsprint*. Aachen: Shaker.
- Wollny, R. (1993). *Stabilität und Variabilität im motorischen Verhalten* (Vol. 1). Aachen: Meyer & Meyer.
- Zimbardo, P. G., & Gerrig, J. G. (2004). *Psychologie* (16. ed.). München: Pearson Studium.
- Zordan, L., Sarlo, M., & Stablum, F. (2008). ERP components activated by the "GO!" and "WITHHOLD!" conflict in the random sustained attention to response task. *Brain Cognition*, 66(1), 57-64.
- Zschocke, S. (2002). *Klinische Elektroenzephalographie* (2. ed.). Berlin: Springer.

Lebenslauf

| | |
|----------------------------|---|
| Persönliche Angaben | Dipl. –Sportlehrer Wolfgang Engel Türnicher Str. 3 50969 Köln W.Engel@genion.de |
| Geburtsdatum/ -ort | 11.02.1969 in Landsberg am. Lech |
| Nationalität | deutsch |
| Familienstand | ledig |
| Schulbildung | 1975- 1979 Grundschule Emstek 1979- 1981 Orientierungsstufe Emstek 1981- 1986 Realschule Cloppenburg 1986- 1989 Clemens- August- Gymnasium Cloppenburg |
| Wehrdienst | 1989- 1990 Hubschrauber- Transport- Geschwader 64 |
| Studium | WS 1990/ 1991- SS 1996 Sportwissenschaft an der Deutsche Sporthochschule Köln Diplomarbeit 05/ 1996 Studienabschluss 5/ 1996 WS 1992/ 1993- SS 1997 |

Germanistik an der Universität zu Köln

Zwischenprüfung 8/ 1997

seit WS 2003 / 2004 Promotionsstudium an der Deutschen Sporthochschule Köln

Tätigkeiten

seit 1996 Referent für den Schwimmbezirk Mittelrhein für Leistungs- und Breitensport

04/ 1996 Mitarbeit beim Cologne Swimming Symposium

08/ 1996- 11/ 1996 Projektleitung: Bewegungstherapie im Wasser. Teilnehmer: Integrativer Kindergarten Drachenfelsstraße (Köln) und 1. Schwimmverein Köln e.V.

seit 05/1996 verantwortlicher Cheftrainer der Freien Wassersport Vereinigung Köln e. V. (integriert in der Startgemeinschaft SCHWIMM-Team Köln)

seit 10/1996 Referent für Breiten- Freizeit und Gesundheitssport und Schwimmsport für den Schwimmverband Nordrhein Westfalen

08/ 2000- 12/ 2000 Leiter der Sportarbeitsgemeinschaft an der städtischen katholischen Grundschule Everhardstraße (Köln)

SS 2001 – SS 2007 Lehrauftrag an der Deutschen Sporthochschule Köln am Institut für Motorik und Bewegungstechnik

seit 08/ 2002 Projekt „Frauen machen Sport im Veedel“ mit der Freien Wassersport Vereinigung Köln e.V.

04/ 2004 – 04/ 2008 Anstellung als wiss. Hilfskraft / Mitarbeiter am psychologischen Institut der Deutschen Sporthochschule Köln

03/2006 – 07/ 2007 Projekt mit der Intersnack GmbH / Deutsche Sporthochschule Köln. Neue Sportmöglichkeiten für Mitarbeiter: Goldfischli Schwimmakademie, Funny Frisch Triathlon Akademie

Köln, den 30.11.2008

Kortikale Aktivierung und mentale Repräsentation von komplexen Bewegungen

Ein integrativer Ansatz zur Erfassung neuro-kognitiver Zusammenhänge der Bewegungsorganisation

Komplexe Bewegungshandlungen im Sport entstehen aus der funktionalen Interaktion mit der Umwelt unter Rückgriff auf sensorische Informationen, welche über kortikale Prozesse vermittelt werden.

Wird davon ausgegangen, dass Wahrnehmungseindrücke und Handlungsaktionen in einem gemeinsamen Code repräsentiert sind, dann liegt die Vermutung nahe, dass sich auch strukturelle und funktionale Merkmale von Handlungen auf mentaler und kortikaler Ebene abbilden.

Vor dem Hintergrund dieser Annahme war es zentrales Ziel der vorliegenden Arbeit, mentale Handlungsrepräsentationen und zugrunde liegende kortikale Prozesse bei komplexen sportlichen Bewegungen im Hinblick auf ihre funktionelle Verschaltung experimentell zu analysieren.

In vier aufeinander aufbauenden Experimenten wurden dabei die Struktur und lernbedingte Veränderung mentaler Handlungsrepräsentationen sowie ihre zugrunde liegenden kortikalen Verarbeitungsprozesse experimentell analysiert. In der ersten Untersuchung konnte in einer Stichprobe von $n = 30$ Experten und Fortgeschrittenen strukturelle Unterschiede hinsichtlich der mentalen Organisation von Bewegungsknotenpunkten (Basic-Action-Concepts) nachgewiesen werden. Bei Experten findet sich eine funktionale, an den Erfordernissen der Bewegungsaufgabe ausgerichtete Struktur mentaler Repräsentationen während Fortgeschrittene eine eher unfunktionale Strukturierung aufweisen, welche sich auf Ebene der Bewegungsausführung in signifikanten Bewegungsfehlern manifestiert. Die Ergebnisse bestätigen vorherige Studien, nach denen die Struktur mentaler Repräsentationen unmittelbar mit der beobachteten Bewegungsausführung zusammenhängt.

In der zweiten Untersuchung wurde an einer Stichprobe von 20 Studierenden und 15 Schwimmern konnte eine lernbedingte Veränderung mentaler Repräsentationen experimentell induziert. Nach lernbasierter Intervention über ein Studiensemester näherte sich die von Schwimmanfängern signifikant der Struktur der mentalen Repräsentation einer Referenzstruktur an.

So kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass beobachtbare Bewegungsausführungen im Zusammenhang mit entsprechenden mentalen Repräsentationen stehen.

In der dritten Untersuchung der vorliegenden Untersuchung wurden kortikale Verarbeitungsprozesse bei der Wahrnehmung von Schwimmexperten in Abhängigkeit der Art des Stimulusmaterials (sportartspezifisch vs. allgemein). Neben einem Symbol-Distanz Effekt konnten beispielsweise signifikante Unterschiede an der P4 Elektrode gefunden werden, welche mit einer Aktivität des hinteren Scheitellappens in Verbindung steht, der bei komplexer Raum- und Bewegungsorientierung aktiv ist, assoziiert werden. Sportler nehmen auf kortikaler Ebene offenbar sportartspezifisches Stimulusmaterial anders wahr, als allgemeines Stimulusmaterial, da bei der Wahrnehmung auch Areale aktiviert werden, welche funktional an der Bewegungssteuerung der wahrgenommenen Bewegung beteiligt sind.

Das Ziel der vierten Untersuchung war die Überprüfung des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Verarbeitung unterschiedlicher Stimulusmaterialien und der Struktur zugrunde liegender mentaler Repräsentationen. Dabei konnte festgestellt werden, dass unabhängig vom Stimulusmaterial die gleichen Clusterlösungen quantifiziert wurden. Die Verarbeitung hingegen sich signifikant unterschied.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die hier gefundenen Ergebnisse einen amodalen Ansatz der Repräsentation bewegungsbasierter Wissensbestände unterstützen. Dabei scheinen die Basic Action Concepts auch auf kortikaler Ebene eine integrierende Funktion für komplexe sportliche Bewegungen zu übernehmen. An dieser Stelle werden beispielsweise Anknüpfungspunkte zum Ansatz des common codings oder der Theory of event coding offensichtlich.

Cortical activation and mental representation of complex motion

An integrated approach to record neuro-cognitive connectivity of motion

In sport, complex movements develop through functional interaction with the environment and through the help of sensory information. This information is being transmitted through a cortical process.

The underlying assumption is that impression of perception and action are represented within one code. Furthermore, structural and functional characteristics of actions are displayed on a mental and cortical platform.

Based on these assumptions, the central goal of this work analyzes mental representation of actions and their cortical process of motion in terms of functional neuronal networks.

Through a series of four interconnected experiments, structures and changes of memorized mental actions and their cortical processes were analyzed.

The first experiment proved that in a sample of $n=30$ experts and advanced athletes, structural differences in their mental organization of junctional motion nodes (basic-action-concepts). Expert athletes showed a functional mental representation of the demanded motion, while advanced athletes showed a less functional structure which manifested itself in considerable flaws for the demanded motions. These findings confirm earlier studies, which demonstrated that the structure of mental representations and the observed motion are related to one another.

The second examination of 20 students and 15 swimmers showed an induced change of their mental representation through correct instructions. With the help of this intervention, beginning swimmers significantly changed their mental representation of motion within a semester. This reveals that observed motion is directly interconnected with their mental representation.

In the third experiment of this examination, swimming experts were evaluated with respect to their cortical evaluation and analysis of perception in connection with the kind of stimulus (sport specific or general) they received. Next to the symbol-distance-effect, significant differences could be found on the P4 electrode. This stands in direct relation with the activity of the posterior parietal lobe, which plays an important role in complex ambient perception and motion. On a cortical platform, it appears that athletes experience sport specific stimuli differently than general stimuli. Specifically, areas are being activated which have a functional impact on motion control.

The goal of the fourth examination was to verify the functional interrelationship between the processing of different stimuli and the structure of their mental representations. It was ascertained that independently from the stimuli received, the same Results of Cluster solution were quantified. The evaluation and analysis of different stimuli on the other hand vary.

To recapitulate, the results of these studies support an amodal approach of the presented motion-based knowledge model. The basic-action-concepts hereby assume an integrated role of complex motion in sport on a cortical platform. Based on these results, the interconnected factors to the approach of the common coding and the theory of event coding become evident.