

Mentale Repräsentation von Atembewegungsbildern bei Querflötisten

Christian Frauscher, Norbert Girlinger, Rainer Holzinger

Anton Bruckner Privatuniversität Linz

Korrespondenz an: Christian Frauscher, Anton Bruckner Privatuniversität Linz, Wildbergstraße 18, 4040 Linz.

E-mail: c.frauscher@bruckneruni.at

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit dem Zusammenhang von mentaler Repräsentation von Atembewegungsmustern und Ausführungsqualität bei Querflötisten. Nach einer theoretischen Einführung in die Handlungstheorie und der daraus abgeleiteten kognitiven Architektur komplexer Bewegungen als theoretischer Rahmen eines Modells zur Erklärung von Bewegungsrepräsentation und Bewegungssteuerung, wird anhand einer quasi-experimentellen Studie die Ermittlung von Bewegungsstrukturen im Langzeitgedächtnis dargestellt. Aus dem Flötenkonzert von Jacques Ibert (1934) wurden Bewegungsknotenpunkte (Konzepte) abgeleitet und für die experimentelle Feststellung von mentalen Repräsentationen verwendet. Mittels der Strukturdimensionalen Analyse-Motorik (SDA-M) wurden die Repräsentationsstrukturen, abhängig vom Expertiselevel, erhoben. Die Unterschiedlichkeit der Repräsentationsstrukturen wird thematisiert, Trainingsmöglichkeiten diskutiert sowie Forschungsperspektiven vorgezeichnet.

Schlüsselwörter

Mentale Repräsentation, Strukturdimensionale Analyse-Motorik (SDA-M), Handlung, ideomotorische Hypothese, Antizipation, Basic Action Concepts (BACs)

Handlung und Bewegungssteuerung

Das Ausführen von Bewegungen, unabhängig vom Kontext, ob künstlerisch-pädagogisch oder im Alltag, wird allgemeinspsychologisch oder kognitionswissenschaftlich als Handeln bezeichnet. Dementsprechend bezieht sich die im Folgenden dargestellte Forschungsarbeit im Wesentlichen auf die zur Allgemeinen Psychologie gehörige Handlungstheorie. Nach Hommel (2008) lässt sich menschliches Handeln in erster Annäherung als das Ausführen zielgerichteter Bewegungen definieren. Im Zentrum der Handlungstheorie steht also immer das Ziel, der Effekt beziehungsweise die Intention von Handlungen. Der Handelnde wird also nicht, wie etwa von Watson als bedeutendsten Vertreter des amerikanischen radikalen

Behaviorismus suggeriert, als das Opfer seiner Umweltbedingungen betrachtet (Asendorpf, 2009), sondern er gestaltet die Umwelt aktiv durch zielgerichtetes, intentional-volitives Handeln.

Bereits Ach (1910, zit. nach Hommel, 2008) hat darauf hingewiesen, dass sich die Arbeitsweise unseres Gehirns durch die Entwicklung und Auswahl eines Ziels verändert. Zielrelevante Informationen und Ereignisse werden bevorzugt verarbeitet und erinnert, gegebenenfalls sogar besonders erlebt. Andererseits werden Handlungspläne generiert und Handlungsbereitschaften ausgebildet, um bei entsprechenden situativen und/oder personenbezogenen Bedingungen angemessen reagieren zu können.

Wie Handlungen im Kopf gespeichert, man sagt: repräsentiert werden, wie sie aufgerufen und gesteuert werden beziehungsweise wie Handlungen und Effekte erworben und verändert werden, ist nicht leicht zu beantworten. Während das Ziel einer einfachen Handlung wie das Zeigen auf ein Objekt durch die Selektion des wahrgenommenen Zielorts und einer augenscheinlich relativ einfachen Bewegung realisiert werden kann, erfordert das Spielen eines auch nur sehr einfachen Musikstücks bereits die Verkettung und Sequenzierung einer Unzahl von Teilhandlungen, die einer bestimmten hierarchischen Struktur untergeordnet werden müssen.

Bereits William James (1890, zit. nach Hommel 2008, S. 685) wies darauf hin, dass Handlungen sekundäre Phänomene sein müssen: „...*if, in voluntary action properly so-called, the act must be foreseen, it follows that no creature not endowed with divinatory power can perform an act voluntarily for the first time*“. Und an anderer Stelle (James, 1890, zit. nach Schack, 2007, S. 104): „...*that every representation of a movement awakens in some degree the actual movement...*“

Im Zentrum der Handlungstheorie steht also nicht nur die Handlung per se, sondern vor allem der Prozess, der der eigentlichen Handlung unmittelbar vorausgeht. In diesem Sinne ist der Mensch als Handelnder nicht ein auf externe Reize bloß reagierendes Medium, sondern er wirkt durch Vorstellungen, also Repräsentationen, die bereits vor dem Handeln wirksam werden, aktiv auf die Umwelt ein. Daraus folgend stellt sich natürlich die Frage, wie den die Handlung repräsentiert ist (Art der Repräsentation), wo sie repräsentiert ist (Ort im Zentralnervensystem), wie sie aktiviert wird (Bindungsproblem), und wie sie überhaupt aussieht (Strukturproblem). Zumindest auf letztere Frage, nämlich wie Repräsentationen oder besser: Vorstellungen der Bewegung (Schack, 2007) strukturiert sind, versucht die vorliegende Arbeit eine Antwort zu geben.

Repräsentation

Wenn Handlungen also aus zielgerichteten, intentionalen Bewegungen bestehen, dann muss zunächst in Erfahrung gebracht werden, welches Ziel mithilfe welcher Bewegung ausgeführt werden kann, bevor man die Bewegung volitiv zur Zielerreichung einsetzen kann. Der Handelnde muss daher bereits vor der Handlung eine vorausgreifende Idee davon haben, was er erreichen möchte. Der Handelnde muss daher über eine handlungsleitende Repräsentation verfügen, mit deren Hilfe Handlungsziele definiert und die Motorik im Hinblick auf das Handlungsziel gesteuert werden kann (Hommel, 2008). Das Konzept einer vorausgreifenden Idee muss allerdings nicht zwangsläufig bewusst repräsentiert sein und wird von Bernstein (1987) als „Modell der erforderlich Künftigen“ bezeichnet.

Der Begriff der Repräsentation beschreibt die Art und Weise, wie Informationen über die externe Welt im Kopf gespeichert werden. Die inflationäre Verwendung des Repräsentationsbegriffs in allen Bereichen der Psychologie und Kognitionsforschung (Anderson, 2007) führte leider zu einer gewissen begrifflichen Unschärfe. Die für die vorliegende Arbeit fruchtbarste Definition sei, obwohl thematisch unzusammenhängend, der Sozialpsychologie entlehnt (Stürmer, 2009, S. 29):

„Mit dem Begriff mentale Repräsentationen werden Wissensstrukturen bezeichnet, die ein Mensch konstruieren, im Gedächtnis speichern, aus dem Gedächtnis abrufen und in unterschiedlicher Weise verwenden kann.“

Das ideomotorische Prinzip

Der Grundgedanke der Repräsentation von Handlungen wird in aktuellen Forschungsarbeiten zum ideomotorischen Prinzip (Hoffmann et al., 2007; Knuf et al. 2001; Koch et al. 2004), zur antizipativen Verhaltenskontrolle (ABC, Hoffmann, 1993, Hoffmann et al. 2004) oder der Theory of Event Coding (TEC, Hommel et al., 2001) zum Ausdruck gebracht. Die verschiedenen Ansätze sind einander ähnlich und vergleichbar. Im Zentrum der Handlungsplanung und –ausführung steht stets die antizipative Handlungskontrolle. Anhand des ideomotorischen Prinzips soll kurz verdeutlicht werden, wie die Konzeption zu verstehen ist.

Die ideomotorische Hypothese geht davon aus, dass sich jede zunächst unwillkürliche Aktion des Körpers mit den eintretenden sensorischen Effekten zwangsläufig so verbindet, dass alleine die Antizipation der Effekte ausreicht, um diejenige Aktion hervorzubringen, die erfahrungsgemäß zum antizipierten Effekt führt (Hoffmann et al., 2007). Es wird also die

Annahme beschrieben, dass Handlungen durch das Denken an oder das Antizipieren von durch diese Handlung produzierten, sensorische Effekte hervorgebracht und gesteuert werden (Hommel, 2008). Ein wesentliches Ziel von Handlungen ist es demnach, einen Effekt in der Umwelt zu produzieren; ein solcher Effekt ist dann auch immer ein sensorisches Ereignis. Basierend auf diesen, durch zahlreiche Untersuchungen und Experimente gestützten Befund kann man davon ausgehen, dass nicht die Repräsentation von Körperwinkeln oder Gelenkstellungen (Schmidt & Lee, 2005) zur leitenden Repräsentation der Handlung wird, sondern der finale Zustand des Bewegungssystems (Jeannerod, 1997; Prinz, 2005). Für die Kontrolle und Steuerung von Handlungen vergleicht also der Organismus fortlaufend den aktuellen Zustand mit dem antizipierten Zustand und die Differenz aus aktueller Bewegungsrückmeldung und zukünftigem Zustand wird durch geeignete Bewegungen reduziert (Schack, 2007).

Antizipative Verhaltenssteuerung

Unter dem Begriff Antizipation versteht man (gedankliche) Vorwegnahme beziehungsweise das Vorausdenken. Im Metier des Mentalen Trainings beispielsweise kommt der Antizipation von Situationen (zum Beispiel beim Auftrittcoaching) oder der Antizipation von Bewegungsabläufen (ideomotorisches, kinästhetisches Training) besondere Bedeutung zu (Mayer & Hermann, 2011).

Ein Beispiel für antizipatives Verhalten im Sinne handlungstheoretischer Überlegungen stellt das zielgerichtete Greifen dar. So konnte Jeannerod (1981, 1994) zeigen, dass sich bereits vor dem Kontakt mit dem zu ergreifenden Gegenstand die Hand umso mehr öffnet, je größer der Gegenstand ist, und zwar auch dann, wenn die Bewegung nicht visuell kontrolliert wird. Die Hand antizipiert also den Gegenstand, was nahelegt, dass der Verlauf des Kontakts mit dem Greifobjekt bereits im Voraus und unter Einbeziehung von Wissen und Erwartung bezüglich der Objektgröße, aber auch anderer Objekteigenschaften wie Gewicht geplant wird.

Ein weiteres Beispiel für die Antizipation von Handlungseffekten sind die sogenannten Koartikulationseffekte beim Sprechen. Wenn zum Beispiel das Phonem /t/ innerhalb eines Wortes ausgesprochen wird, dann weist die Rundung der Lippen bereits vor Beginn der Lautäußerung auf das folgende Phonem hin, wie ein Vergleich der Folgen /t/ + /ʌ/ („ta“), /t/ + /i/ („ti“) und /t/ + /u/ („tu“) deutlich macht. Das Lautbild eines Phonems wird also vom nachfolgenden Phonem beeinflusst, was auf die zeitliche Überlappung der Planung hinweist (Hommel, 2008).

Weitere Beispiele für Antizipationseffekte ergeben sich aus der Analyse von Handlungsfehlern. Die nach William Archibald Spooner benannten Spoonerismen (Baars, 1980) bezeichnen Sprechfehler, die sich als Lautvertauschungen bemerkbar machen: „The queer old dean“ anstelle von „The dear old queen“. Ähnliche Fehler treten auch beim Maschineschreiben auf (Grudin, 1983), etwa die häufig zu beobachtende Verdoppelung des falschen Buchstabens („Klaase“ statt „Klasse“). Derartige Fehler zeigen den Einfluss späterer auf frühere Handlungsschritte und legen deshalb nahe, dass Handlungen im Voraus geplant werden (Hommel, 2008).

Die Antizipation des Bewegungseffekts wird als zentraler Faktor der Bewegungsorganisation angesehen. So schreibt Bernstein (1957, 1975, zit. nach Schack, 2004, S. 406):

„If we consider the program of the movement act macroscopically as a whole, then the only determining factor we are able to find for it is the image or idea of that effect of the (...) action toward which this act is directed through comprehension of the given movement task.“

Schack (2004) weist darauf hin, dass die Vorwegnahme des Bewegungseffekts der erste und entscheidende Schritt der Bewegungsorganisation ist. Dieser Effektantizipation folgt die Generierung eines Modells des erforderlich Künftigen, mit dem alle Steuerungsprozesse der Handlung in Beziehung gesetzt werden.

Besonders untermauert wird die antizipative Verhaltenssteuerung durch die Befunde zum sogenannten end-state comfort effect (Rosenbaum & Jorgensen, 1992; Weigelt et al., 2006). Die Forschungen zum end-state comfort zeigen, dass bei der Bewegungsinitiierung diejenige Körperposition eingenommen wird, die im Endeffekt, also bei Beendigung der Bewegung, zu einer angenehmen Körperhaltung führt. Dies ist nur dann möglich, wenn vor oder zumindest bei Bewegungsbeginn, das Endergebnis der Handlung in Betracht gezogen wird. Die Repräsentation des Bewegungsziels ist somit die eigentlich handlungsleitende Instanz. Die Beobachtungen und Experimente zum end-state comfort effect zeigen also, dass Bewegungshandlungen geplant, kontrolliert und ausgeführt werden im Hinblick auf die vorweggenommene Endposition der Bewegung. Daraus folgt, dass es ein internes Modell, also eine mentale Repräsentation beziehungsweise Vorstellung des Bewegungsziels geben muss, das die Handlung leitet (Schack, 2004).

Hinweise auf interne Kontrollstrukturen von Bewegungen geben auch die Befunde zur Antwort-Effekt-Kompatibilität (Kunde 2001) oder Reiz-Reaktions-Kompatibilität (Hommel, 2008). Kompatibilitätseffekte zeigen, dass die Paarung bestimmter Reize und Reaktionen zu

besonders guten Leistungen führen, bestimmte Reize also besonders gut zu bestimmten Reaktionen passen. Beispielsweise wird das Drücken einer linken oder rechten Taste besonders schnell und korrekt ausgeführt, wenn der entsprechende Signalreiz auf derselben Seite wie die Reaktion erscheint. Allerdings zeigt sich dieser Effekt auch dann, wenn die Hände gekreuzt sind und somit ein Signalreiz der von rechts kommt, mit der linken Hand beantwortet werden muss (Wallace, 1971). Die Beziehung zwischen Reiz- und Handposition ist also wichtiger als zum Beispiel die anatomisch direktere Verschaltung eines visuellen Halbfelds und der ipsilateralen Hand (Hommel 2008). In einem Experiment von Hommel (1993) mussten Probanden auf Tonreize mithilfe von Tasten reagieren, deren Druck ein Licht auf der gegenüberliegenden Seite anschaltete. Eine Versuchsgruppe wurde instruiert, je nach Ton, die linke oder rechte Taste zu drücken, eine zweite Gruppe sollte je nach Ton das linke oder rechte Licht anschalten. Die Bedingungen waren so konstruiert, dass beide Gruppen dieselben Reaktionen auf dieselben Reize abgaben, die Ergebnisse waren jedoch genau entgegengesetzt: In der Gruppe mit der Tasteninstruktion förderte ein linker Reiz der Druck der linken Taste und ein rechter Reiz den Druck der rechten Taste. In der Gruppe mit Lichtinstruktion förderte ein linker Reiz den Druck der rechten Taste (die das linke Licht anschaltete) und ein rechter Reiz den Druck der linken Taste (die das rechte Licht anschaltete). Der Reiz förderte also diejenige Reaktion, deren intendiertes Ziel sich auf derselben Seite befand. Das Ziel der Handlung muss daher bereits vor Abschluss der Handlungsplanung bekannt sein und in den Handlungsplan miteinbezogen werden (Hommel, 2008).

Ein weiteres geeignetes Forschungsfeld für die auf Effektrepräsentationen gerichtete Forschungsperspektive sind Experimente zur bimanuellen Koordination. So lassen sich symmetrische Handbewegungen leichter initiieren als Bewegungen unterschiedlicher Richtungen oder Amplituden. Diese Tendenz zur Produktion symmetrischer Bewegungen wird in der Regel auf inhärente Constraints des motorischen Systems zurückgeführt und entweder mit einer zeitgleichen Aktivierung homologer Muskeln (Kelso & Tuller, 1984) begründet oder auf eine Übereinstimmung von Programmparametern bei symmetrischen Bewegungen zurückgeführt (Spijkers et al., 1997). Wie Mechsner (2004) sowie Kunde & Weigelt (2005) zeigen konnten, können bis dahin als „unmöglich“ eingeschätzte Koordinationsleistungen mit bloßem visuellen Feedback stabil produziert werden. Wenn beispielsweise die beiden Hände unterschiedliche Koordinationsleistungen vollbringen müssen, die aber das gleiche Bewegungsergebnis zum Ziel haben, kann über die Übereinstimmung der Objektorientierungen (ein Objekt bewegt sich gleich schnell in die

gleiche Richtung, obwohl beide Hände unterschiedliche Aktivitäten dazu ausführen müssen; Zielsymmetrie) eine perfekte Koordinationsleistung erzielt werden. Dass beide Bewegungen symmetrisch ausgeführt werden können, wird also nicht durch die Symmetrie der auszuführenden Bewegungen determiniert, sondern durch die Antizipation des gleichen Bewegungsziels. Somit vermittelt die Zielrepräsentation nicht nur die Bewegungssteuerung, sondern auch die Initiierung von Bewegungen. Die bimanuellen Koordinationsleistungen werden also durch sensorische Effektrepräsentationen bestimmt.

Vor dem Hintergrund einer antizipativen und effekt-basierten Verhaltenssteuerung rückt zunehmend eine kognitiv-perzeptuelle Perspektive der Handlung in den Mittelpunkt (Schack, 2007). Es stellt sich die Frage, inwieweit Handlungen (kognitiv vermittelt durch Effektrepräsentationen) einerseits und die Perzeption (die Wahrnehmung) andererseits miteinander kommunizieren. Eine Lösung dieses Problems ist die Common-Coding-Theorie von Prinz (1997) und deren Weiterentwicklung in der Theory of event coding (TEC, Hommel et al., 2001). Prinz geht davon aus, dass Wahrnehmung und Handlung durch dieselben Repräsentationen vermittelt werden. Bewegungen werden auf der Basis von Repräsentationen gesteuert, die genau diejenigen sensorischen Ereignisse und funktionalen Zustände beinhalten, die durch die Bewegung erzeugt werden sollen. Der Inhalt der Repräsentationen bezieht sich demnach auf die sensorischen Effekte beziehungsweise die sensorische Effektstruktur, die durch eine Handlung erzeugt wird. Effektrepräsentationen enthalten aber nicht die motorischen Programme, die diese Effekte produzieren könnten. Die Antizipation des Bewegungseffekts führt erst zur Generierung des geeigneten motorischen Programms, das dann umgesetzt wird. Das motorische Programm selbst, im Sinne von Muskelaktivationsmustern (Keele, 1968) wird also nicht gespeichert, sondern lediglich das zu erwartende Bewegungsergebnis, das aufgrund von Erfahrung im Umgang mit der Umwelt erlernt wurde. Wie diese Bewegungseffekte organisiert, strukturiert und gesteuert werden, wird von Schack (2004, 2005, 2009, 2010) in der kognitiven Architektur komplexer Bewegungshandlungen thematisiert.

Die kognitive Architektur komplexer Bewegungen

Die kognitive Architektur von Bewegungshandlungen stammt von Schack (2002, zit. nach Schack, 2005) und ist ein experimenteller Zugang zur Ermittlung mentaler Strukturen von Bewegungshandlungen im Langzeitgedächtnis. Kerngedanke des Modells ist, dass ein wesentlicher Referenzpunkt des aktuellen Bewegungslernens in einer relativ überdauernden Struktur liegt, die sich aus kognitiven Bausteinen und Strukturkomponenten zusammensetzt.

Diese Struktur von Bewegungen besteht wiederum aus verschiedenen Ebenen, die sich hinsichtlich ihrer zentralen Aufgaben in Regulations- und Repräsentationsebenen aufgliedert. Jeder dieser Ebenen wird eine funktionale Autonomie unterstellt.

Code	Ebene	Hauptfunktion	Subfunktion	Mittel
IV	Mentale Kontrolle	Regulation	Volitive Initiierung, Strategieeinsatz	Symbole, Strategien
III	Mentale Repräsentation	Repräsentation	Effektorische Adjustierung	Basic Action Concepts
II	Sensomotorische Repräsentation	Repräsentation	Speicherung sensorischer Effekte	Perzeptuelle Effekt-Repräsentation
I	Sensomotorische Kontrolle	Regulation	Räumlich-zeitliche Adjustierung	Funktionelle Systeme, basale Reflexe

Tab 1. Ebenen der Handlungsorganisation (Schack, 2009, S. 164).

Die Ebene der mentalen Kontrolle (IV) erfüllt wesentliche Aufgaben der willkürlichen Bewegungsregulation und hinsichtlich der Kodierung des antizipierten Bewegungsergebnisses. Die Ebene der mentalen Repräsentation (III) bildet in erster Linie eine kognitive Referenzgröße für die Ebene der mentalen Kontrolle. Die Ebene III ist konzeptuell organisiert und dafür zuständig, dass das antizipierte Bewegungsergebnis in ein Modell der dazu erforderlichen Bewegungsstruktur überführt wird. Die Bausteine der Handlungsorganisation auf dieser Ebene sind die sogenannten Basic Action Concepts (BACs, Repräsentationseinheiten), die sich auf Bewegungsknotenpunkte beziehen und die untereinander eine hierarchische Struktur bilden. Diese Bewegungsknotenpunkte oder Repräsentationen entsprechen Vorstellungen der Bewegung, die dem Gedächtnis explizit, über Vorstellung oder auch bildliche oder verbale Bildbeschreibungen zugänglich sind. Die Ebene sensomotorischer Kontrolle (I) steht in direkter Verbindung zur Umwelt. Im Gegensatz zur Ebene IV, die intentional induziert ist, ist die Ebene sensomotorischer Kontrolle perzeptuell, das heißt auf Wahrnehmung basierend, organisiert. Diese Ebene baut auf den funktionellen Einheiten aus Effektoren, perzeptuellen Effektrepräsentationen und afferenten Feedbacks auf, deren wesentliche Invariante der Bewegungseffekt im Rahmen der Handlung

ist. Ein Automatismus stellt sich dann ein, wenn die Ebene der sensomotorischen Kontrolle (I) über eine ausreichende Menge an Korrekturmechanismen verfügt, um einen angezielten Effekt stabil erreichen zu können. Auf der Ebene der sensomotorischen Repräsentationen werden dann die modalitätsspezifischen Informationen gespeichert, die den Effekt der jeweiligen Bewegung repräsentieren (Ebene III). Die relevanten Modalitäten verändern sich in Abhängigkeit von der Expertisestufe im Lernprozess und in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabe (Schack, 2005, 2009).

Basic Action Concepts (BACs)

Konzepte der Bewegung oder Basic Action Concepts (BACs) bilden die Hauptrepräsentationseinheiten für die Bewegungskontrolle. BACs bezeichnen sogenannte Bewegungsknotenpunkte von Körperpositionen und funktionalen Bewegungsereignissen, die benötigt werden, um Bewegungsziele zu verwirklichen. Bewegungsknotenpunkte beziehen sich auf wahrnehmungsbezogene invariante Eigenschaften von Bewegungen; die Merkmale von Bewegungskonzepten ergeben sich aus perzeptiven und funktionalen Eigenschaften des jeweiligen Bewegungseffekts: Sie vereinen sensorische und funktionale Eigenschaften. Diese funktionalen Eigenschaften werden von den Bewegungszielen abgeleitet, was die Ebene der mentalen Repräsentation (III) mit der Ebene der mentalen Kontrolle (IV) direkt verbindet. Da die BACs aber auch perzeptive, sensorische Ereignisse beinhalten, sind sie nach unten hin direkt mit der Ebene der sensomotorischen Repräsentation (II) verbunden (Schack, 2009). Die Basic Action Concepts enthalten also all diejenigen Informationen, die notwendig sind, um einen antizipierten Effekt auszuführen und zu steuern. Die Konzepte sind charakterisiert durch Merkmale, die sich bildlich und/oder verbal beschreiben lassen. Bezogen auf eine Pilotstudie von Frauscher (2009), in der eine zyklische Schlagzeugbewegungen (Double Paradiddle) in Form von Konzepten beschrieben wird, lassen sich ganze Bewegungsabläufe in Form von charakteristischen Schlagbewegungen der Hände darstellen (Upstroke, Downstroke, Tap, Single, Double). Jede der Bewegungen stellt somit ein Konzept dar, das eine bestimmte „Station“ des Bewegungsablaufes charakterisiert. Die in diesem Fall rein schriftliche Darstellung der Bewegung, zum Beispiel als „Rechte Hand downstroke“ gibt bereits Auskunft über die zeitliche Struktur („Wann ist diese Bewegung zu spielen“), über sensorische Merkmale („downstroke“ ist laut und der Anschlag somit härter) und gegebenenfalls auch über den Ort des Anschlags („Wo soll die Bewegung ausgeführt werden?“). Aus der Struktur der Ordnung der verschiedenen Bewegungen kann auf das Expertiseniveau des Spielers rückgeschlossen werden. Wie Schack (2010) in zahllosen

Studien experimentell nachweisen konnte, ist die Strukturbildung von Konzepten expertiseabhängig. Anhand der Konzeptstruktur kann somit auf Repräsentationsfehler geschlossen werden. Zwar kann unschwer festgestellt werden, ob eine Bewegung korrekt oder falsch ausgeführt wird, woran dies allerdings liegt, bleibt meistens unklar. Ein Blick auf die Ebene der Repräsentation kann hier sehr aufschlussreich sein; im direkten Vergleich mit einem Experten zeigen sich Unterschiede in der Anordnung beziehungsweise Strukturbildung von Konzepten, die mit der Bewegungsqualität in direktem Zusammenhang stehen. Daraus folgt, dass Bewegungsfehler bereits auf der Ebene der Repräsentation erkannt und zielgerichtet durch geeignete Trainingsmaßnahmen (zum Beispiel Mentales Training im Sinne der Bewegungsvorstellung oder Bildreihenanalyse) korrigiert werden können.

Methode

Mit welchen Mitteln können sich Strukturen auf der Ebene der mentalen Repräsentation nachweisen lassen? Zweifellos hat man es bei Bewegungsaufgaben im Sport oder der Musik mit sehr komplexen kognitiven Strukturen zu tun, die sich zunächst dem unmittelbaren empirischen beziehungsweise experimentellen Zugang zu entziehen scheinen.

Für die Ermittlung von kognitiven Repräsentationen in Bereich der Begriffsstrukturierung (Hoffmann, 1986) wurde ein eigenes experimentelles Verfahren entwickelt, die sogenannte Strukturdimensionale Analyse (SDA) (Lander, 1991, 1998; Lander & Lange, 1992, 1996). Schack (2002, zit. nach Schack, 2005) und Schack & Lander (1998, zit. nach Schack, 2005) adaptierten die Methode des SDA für motorische Analysen zur Strukturdimensionalen Analyse-Motorik (SDA-M). Die SDA-M bietet die Möglichkeit, mentale, begriffliche Strukturen samt ihrer lernbedingten Veränderung zu erfassen. Der Aufbau, die Stabilisierung und die Veränderung mentaler Strukturen werden dabei computergestützt sichtbar gemacht. Qualitative Veränderungen in den kognitiven Strukturen der Bewegungskoordination werden in jedem Einzelfall exakt bestimmbar; ebenso können Aussagen über interindividuelle Unterschiede und Aussagen über gruppenbezogenen Unterschiede (zum Beispiel Experten-Novizen) hinsichtlich der mentalen Strukturierung beim motorischen Lernen getroffen werden.

Zu Beginn jeder Exploration der mentalen Repräsentationsstruktur steht die Analyse des Bewegungsablaufes und die Festlegung der relevanten Basic Action Concepts. Dies findet in der Regel in Zusammenarbeit mit Experten, Trainern und Lehrern, im Optimalfall auch mit Biomechanikern oder Physiologen, statt. Über Reaktionszeit-Experimente wird festgestellt, ob die theoretisch ermittelten BACs tatsächlich für die Bewegungsstruktur relevant sind: Dabei

werden den Probanden Bilder einzelner Bewegungen zusammen mit einem sprachlichen Marker dargeboten, worauf die Probanden so schnell wie möglich entscheiden müssen, ob die Wort-Bild-Kombinationen kongruent sind oder nicht. Anhand der Kürze der Entscheidungszeiten wird dann festgelegt, ob ein bestimmtes Bild als Konzept gültig ist oder nicht. Schack & Mechsner (2006, S. 78) benutzten diese Methode, um die relevanten Bewegungsknotenpunkte für den Tennisaufschlag wie folgt festzulegen; dabei stellte sich auch heraus, dass von biomechanischer Sicht her der Tennisaufschlag aus drei unterscheidbaren Phasen besteht, die sich wiederum hierarchisch in Konzepte gliedern:

I. Pre-activation phase:

- 1) Ball throw
- 2) Forward movement of the pelvis
- 3) Bending the knees
- 4) Bending the elbow

II. Strike phase:

- 5) Frontal upper body rotation
- 6) Racket acceleration
- 7) Whole body stretch motion
- 8) Hitting point

III. Final swing phase:

- 9) Wrist flap
- 10) Forward bending of the body
- 11) Racket follow-through

Jedes einzelne Basic Action Concept ist durch sensorische und funktionale Merkmale gekennzeichnet. BAC 7 beispielsweise (whole body stretch motion) ist funktional verbunden mit der Übertragung von Kraft auf den Ball, der Umwandlung von Spannung in Schwungenergie sowie dem Strecken des Körpers bei gleichzeitiger Körperstabilität. Afferente sensorische Merkmale der entsprechenden Subbewegungen sind gebeugte Knie, geneigte Schulterachse und Verlagerung des Körpergewichts auf den linken Fuß. Reafferente sensorische Merkmale, die ein Feedback-Monitoring erlauben, ob die funktionalen Anforderungen der Subbewegungen erfolgreich umgesetzt wurden, sind Muskelspannung

beziehungsweise Muskeldehnung, propriozeptive Informationen und visuelle Wahrnehmung des schwingenden Arms und des Balls (Schack & Mechsner, 2006).

Nach Festlegung der Bewegungsknotenpunkte erfolgt die Eingabe der Konzepte in das Computerprogramm SPLIT. Die Methode der Strukturdimensionalen Analyse-Motorik oder auch SPLIT-Prozedur (von englisch „split“ = teilen) ist ein Mengenaufteilungs- beziehungsweise Zuordnungsverfahren, das eine psychometrische Analyse der Bewegungsrepräsentationsstruktur erlaubt. Die Vorgehensweise beim SPLIT-Verfahren besteht aus vier Schritten: Zu Beginn steht eine für den Probanden einfache Zuordnungsaufgabe: jeweils ein Basic Action Concept steht in Referenz- oder Ankerstellung und wird randomisiert mit allen anderen Konzepten abgeglichen. Das heißt, der Proband muss mit Ja- oder Nein-Tastendruck entscheiden, ob für ihn zwei Konzepte (Anker und jeweils ein weiteres) zusammengehören oder nicht. Die gesamte Zuordnungsprozedur erfolgt ohne Zeitdruck.



Abb 1. Screenshot der SPLIT-Prozedur. Der rot unterlegte Knotenpunkt ist das Referenzkonzept (Anker) gegen den alle anderen BACs (gelb unterlegt) randomisiert abgefragt werden. Konzepte, die als nicht zusammengehörig bewertet werden, werden nach rechts verschoben („Minus“). Konzepte, die als zusammengehörig betrachtet werden, werden nach links („Plus“) verschoben. Jedes BAC steht einmal in Referenzstellung. Die Abbildung zeigt die Zuordnungsprozedur in der Studie von Frauscher (2009).

Diese relativ einfache Sortieraufgabe führt zu einer Distanzskalierung: aus dem Entscheidungsverhalten des Probanden werden euklidische Distanzen errechnet. In einem zweiten Schritt werden die zuvor ermittelten Distanzmaße einer hierarchischen Clusteranalyse unterzogen. In einem dritten Schritt wird eine Clusteranalyse durchgeführt, die die Dimensionierung des BAC-Sets zeigt. Als letzten Schritt gibt es noch die Möglichkeit einer Invarianzanalyse, die Unterschiede innerhalb oder zwischen Gruppen zeigt. Letzteres ist nur dann relevant, wenn mehrere Personen an der SPLIT-Prozedur teilgenommen haben (für eine explizit genaue mathematische Beschreibung des SPLIT-Verfahrens siehe Lander, 1991). Die Ergebnisse der Strukturanalyse werden als sogenannte Dendrogramme (Entscheidungsbäume) ausgegeben.

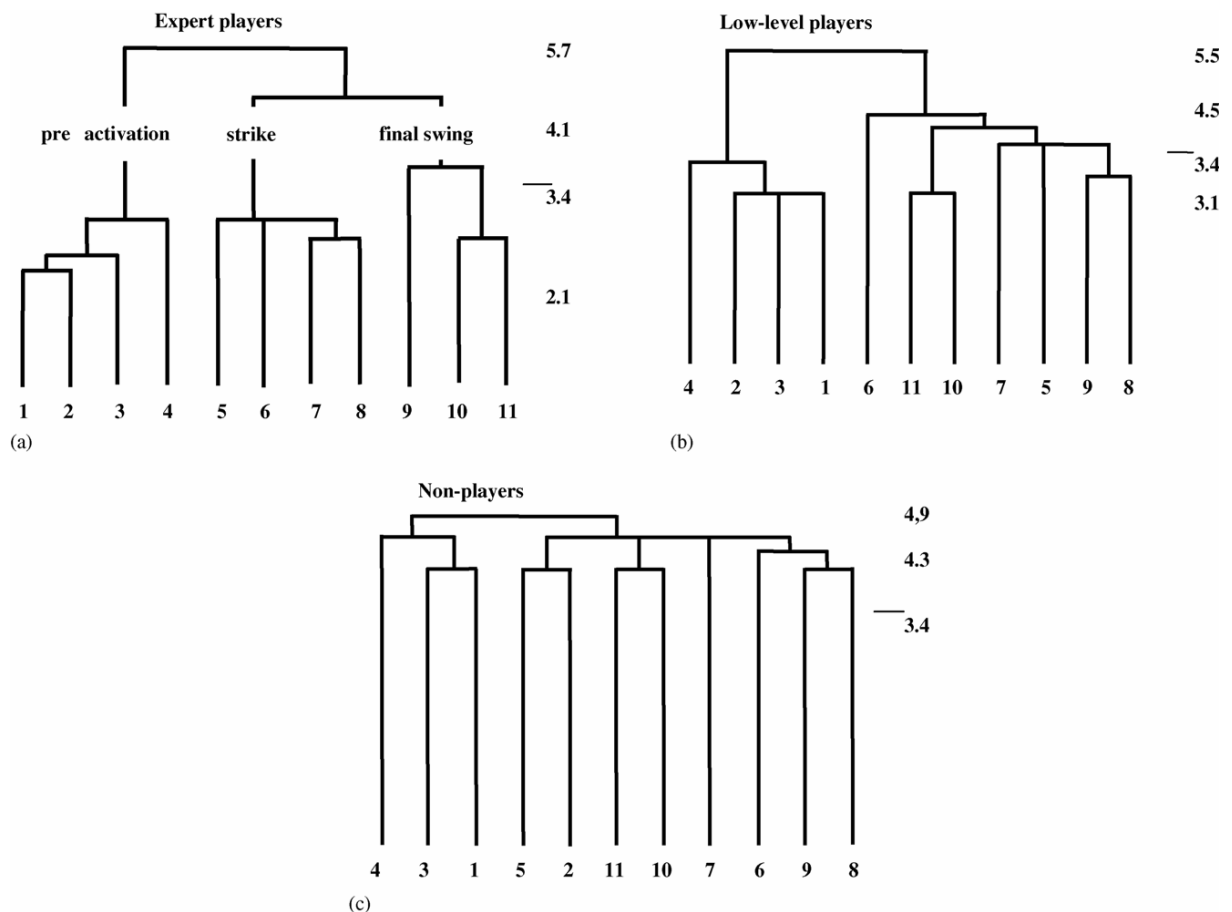


Abb 2. Ergebnisse aus der Studie von Schack & Mechsner (2006, S. 80). Dendrogramme für drei verschiedene Gruppen unterschiedlichen Expertiseniveaus, basierend auf einer hierarchischen Clusteranalyse. Die horizontale Nummerierung entspricht den Basic Action Concepts, die vertikale Nummerierung den euklidischen Distanzen, die sich aus dem gemittelten Entscheidungsverhalten ergeben. Der Strich in der vertikalen Nummerierung zeigt den kritischen Wert, unterhalb dessen die Messung gültig ist.

Man erkennt unschwer deutliche Unterschiede in der kognitiven Repräsentation zwischen den Gruppen. Die Experten zeigen eine klare raum-zeitliche Ordnung der Konzepte, die genau der biomechanisch ermittelten Optimalstruktur entspricht. Auch die zuvor ermittelte Dreiteilung in Aktivations-, Schlag- und Abschwungphase entspricht den biomechanischen Anforderungen. Die Nicht-Experten zeigen demgegenüber eine schwache Ordnung. Konzepte, die im Vergleich mit den Experten nicht zusammengehörig sind, werden als solche nicht erkannt. Auch ist die Phaseneinteilung nicht erkennbar. Sogar die zeitliche Reihenfolge ist durcheinander. Die Nicht-Spieler (als Kontrollgruppe) zeigen keinerlei erkennbare Struktur. Es ist offensichtlich, dass die interne Bewegungsrepräsentation, das heißt, wie die Bewegung, die rein äußerlich auszuführen ist, im Kopf abgebildet wird, mit der tatsächlichen Qualität der Bewegungsausführung zusammenhängt. Als Trainingsoption kann nun direkt anhand der Struktur auf Defizite in der Bewegungsausführung geschlossen werden. Denselben Ansatz wie Schack versuchten Frauscher, Gurlinger & Holzinger in der vorliegenden Studie zur Repräsentation von Atembewegungsmustern bei Querflöttern umzusetzen. Im Blickpunkt stand dabei, ob es nach dem Experten-Novizen-Paradigma Unterschiede in der Repräsentation von Atemmustern bei einer musikalischen Phrase gibt. Als Untersuchungsmaterial wurde eine Phrase aus dem Flötenkonzert von Jacques Ibert (1934) ausgewählt, insgesamt sechs Takte. Die Bewegungsknotenpunkte wurden wie folgt benannt:

- 1) Vor erster Atmung
- 2) Einatmung
- 3) Erster Ton
- 4) Während dem Spiel
- 5) Letzter Ton vor Atmung
- 6) Atmung
- 7) Erster Ton nach Atmung
- 8) Wieder während dem Spiel
- 9) Letzter ton
- 10) Nach letztem Ton

Es ergaben sich also insgesamt also 10 Basic Action Concepts der Bewegungsrepräsentation. Bei der Erstellung und Diskussion der Bewegungsknotenpunkte war die Meinung des Experten ausschlaggebend; aufgrund eigener langjähriger Erfahrung am Instrument stand eine

weitere Evaluation der Korrektheit der Knotenpunkte nicht zur Diskussion. Eine Einteilung in Phasen wurde zunächst nicht angedacht, da nicht vorauszusehen war, welche Phasen tatsächlich wahrgenommen werden. Eine mit Schack & Mechsner (2006) vergleichbare Vorgehensweise, die Angemessenheit der Konzeptbestimmung mittels Reaktionszeitaufgaben zu prüfen, stand nicht zur Diskussion, vor allem, weil die begrenzte Anzahl von Möglichkeiten, die Atemführung zu gestalten, dies nicht für nötig erscheinen ließ. Nach Festlegung der Konzepte wurden die Knotenpunkte in das SPLIT-Programm eingegeben. Eine bildliche Beschreibung fand nicht statt. Die Zuordnungsprozedur erfolgte rein auf verbaler Ebene entsprechend den oben genannten Bewegungsknotenpunkten. Die Autoren klammerten in dieser Studie auch andere Formen der Bewegung wie das Griffbild bewusst aus. Im Sinne des psychologischen Realismus sollte nur ein Aspekt untersucht werden, der mögliche Hinweise auf eine Ursache-Wirkungsbeziehung geben sollte. An der quasi-experimentellen Studie nahmen im Laufe des Wintersemesters 2010/2011 insgesamt N = 11 Probanden teil, zwei ♂ und neun ♀. Die zwei männlichen (beide gehören zu den Autoren) und ein weiblicher Proband mussten von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die Autoren wurden aufgrund der theoretischen Vertrautheit mit der Methode ausgeschlossen, in dem anderen Fall lagen Verständnisprobleme sprachlicher Natur vor. In der statistischen Auswertung wurden somit die Daten von acht Teilnehmern berücksichtigt. Alle Teilnehmer wurden gleich instruiert und demselben experimentellen Ablauf unterzogen; zunächst wurde das Experiment erklärt und die Teilnehmer hatten im Anschluss die Möglichkeit, sich einzuspielen und die betreffende Stelle einige Minuten zu üben. Danach erfolgte eine Videoaufzeichnung der individuellen Performance dieser einen Stelle. Diese Aufzeichnung wurde benötigt, um im Zuge der Datenauswertung eine Zuordnung jedes einzelnen Probanden zu einer bestimmten Expertisestufe zu ermöglichen. Das bedeutet, dass die Feststellung des spielerischen Niveaus durch den Experten erst nach dem Experiment erfolgte. Es wurden nach qualitativen Gesichtspunkten zwei verschiedene Arten der Gruppeneinteilung vorgenommen, einmal mit zwei Expertisestufen (Experten, Nicht-Experten) und einmal mit drei Expertisegraden (Experten, Medium-Spieler, Nicht-Experten).

Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Clusteranalyse als Dendrogramme dargestellt und diskutiert. Bei der Klassifizierung der Probanden in zwei Gruppen nach dem qualitativen Kriterium „Experte“ versus „Nicht-Experte“ ergeben sich für die Expertengruppe n = 3 Teilnehmer und für die Nicht-Expertengruppe n = 5 Teilnehmer.

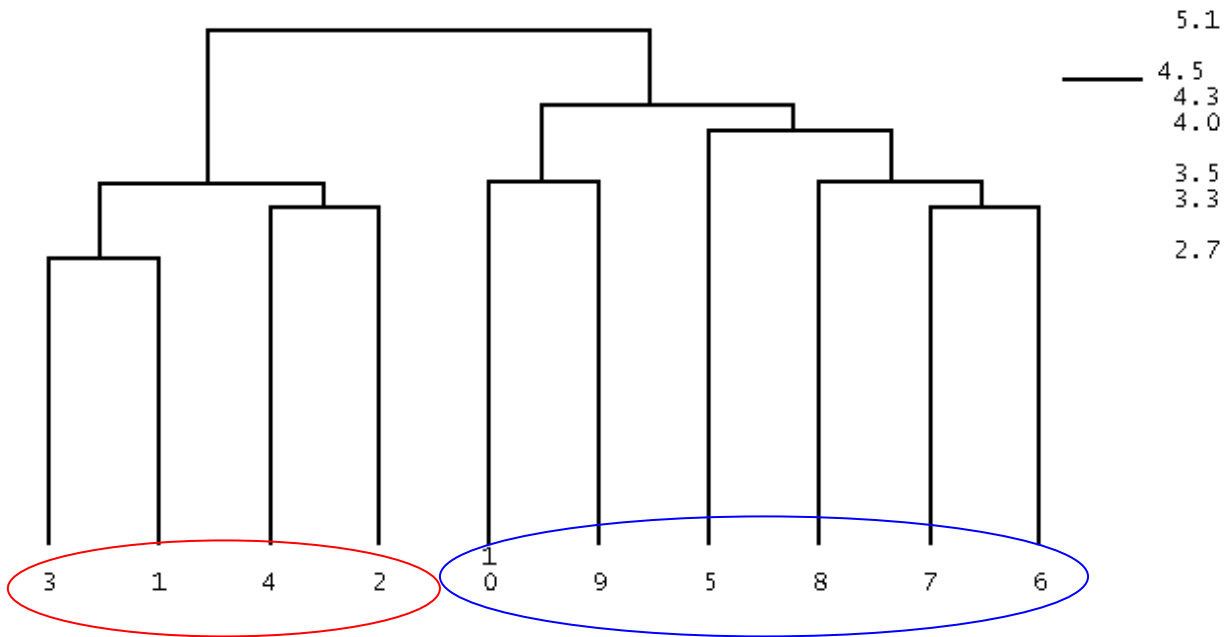


Abb 3. Dendrogramm der Expertengruppe. Der Autor, der als Experte die Knotenpunkte definiert hat, ist von der Auswertung ausgenommen.

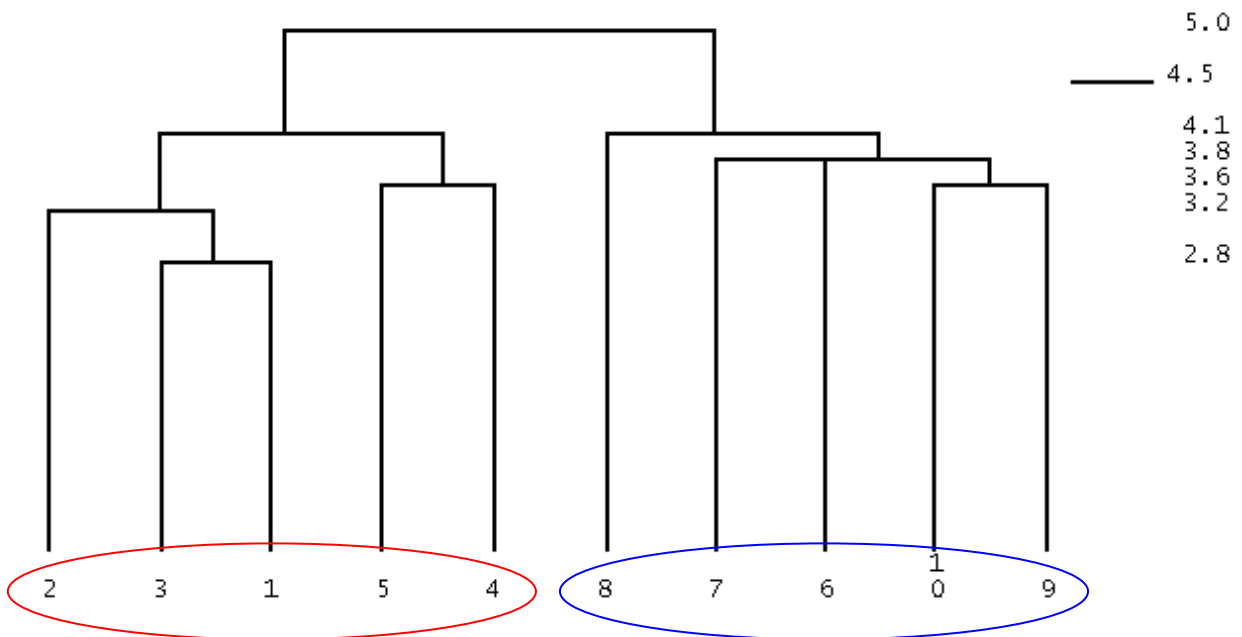


Abb 4. Dendrogramm der Nicht-Experten-Gruppe.

Bei Betrachten des Dendrogramms der Expertengruppe fallen zwei distinkte Cluster ins Auge, nämlich der Cluster mit den Konzepten 3, 1, 4, 2 und der Cluster mit den BACs 10, 9, 5, 8, 7, 6. Die Konzepte, die innerhalb eines Clusters angeordnet sind, sind wie die Teile eines Perpetuum mobile zu betrachten; sie können beliebig gedreht oder vertauscht werden. So

macht es für die Analyse keinen Unterschied, ob das BAC 3 oder 1 an erster Stelle steht, aber sehr wohl, ob BAC 4 und 3 vertauscht sind; dies wäre analytisch unzulässig. Vertauschungen gelten also nur innerhalb direkter Verbindungen innerhalb eines Clusters. Es ergibt sich also eine Zweiteilung der Phrase.

Bei der Nicht-Expertengruppe zeigt sich ebenso eine Zweiteilung, allerdings nach anderen Gesichtspunkten. So ist das BAC 5 („Letzter Ton vor Atmung“) bereits mit dem zweiten Teil verknüpft, während die Expertengruppe hier eine klare Trennung vorsieht. Auffällig ist bei beiden Gruppen, dass eine genaue zeitliche Ordnung offenbar eine untergeordnete Rolle spielt. Dies war zunächst überraschend, hatten die Autoren doch hypothetisiert, dass gerade die zeitliche Ordnung strukturbildend wirken sollte. Offensichtlich ist die zeitliche Ordnung ein oberflächliches Merkmal, das für die Repräsentation der Bewegung eine untergeordnete Rolle spielt. Bei der Expertengruppe zeigt sich eine etwas diffizilere Gewichtung der Knotenpunkte: So bilden die Knotenpunkte 9 und 10 einen distinkten Subcluster, und BAC 5 und 8 sind innerhalb des Subclusters 5, 6, 7 und 8 mehr ausdifferenziert. Interessant ist auch, dass das Konzept 5 („Letzter Ton vor Atmung“) in direkter Verbindung mit BAC 8 („Wieder während dem Spiel“) steht; die Nicht-Experten ordnen hier rein zeitlich: 4 gehört zu 5. Auffällig in beiden Gruppen ist die Subclusterung von 1 und 3: „Vor erster Atmung“ und „Erster Ton“ sind offenbar im Gedächtnis näher beisammen repräsentiert als „Vor erster Atmung“ und „Einatmung“.

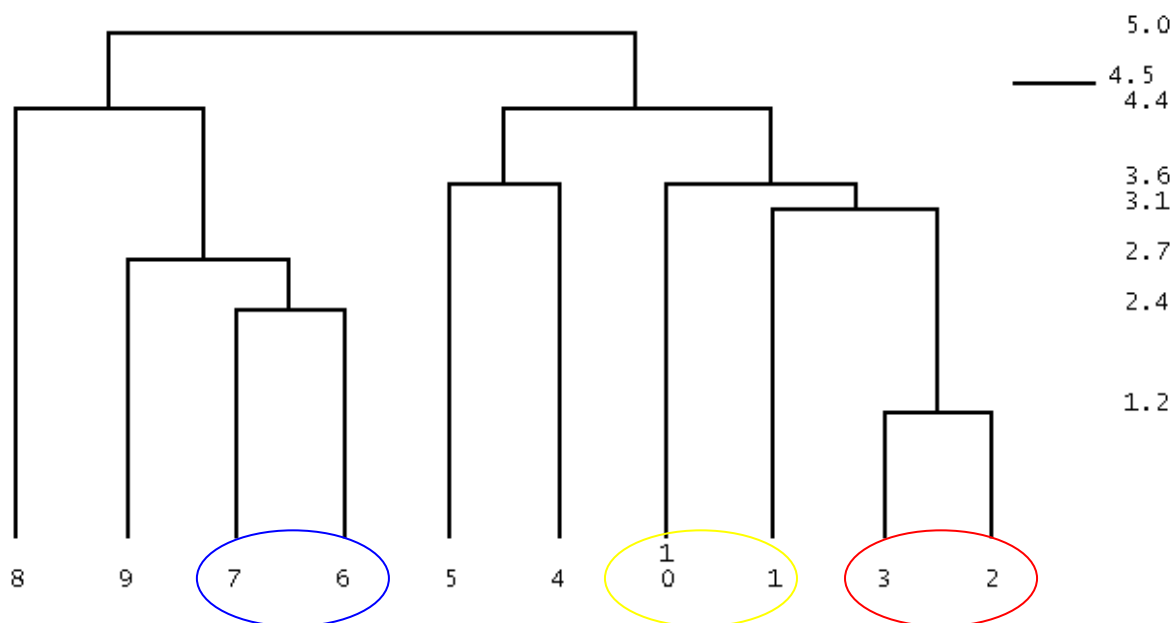


Abb 5. Dendrogramm der Expertenstruktur als Referenzstruktur. Der Experte ist der Autor, der die Knotenpunkte definiert hat.

Die starke Unterschiedlichkeit zwischen den verschiedenen Expertisegraden in der Repräsentationsstruktur zeigt sich vor allem beim Vergleich mit der Referenzstruktur des Experten, der die Knotenpunkte definiert hat. Man erkennt zwei distinkte Cluster, die sich deutlich voneinander unterscheiden. Der erste Cluster mit den BACs 6, 7, 8, 9 weist eine klare zeitliche Ordnung auf, wobei die Konzepte 6 und 7 besonders stark im Gedächtnis verknüpft sind: „Atmung“ und „Erster Ton nach Atmung“. Noch deutlicher zeigt sich die Verbindung in den sehr niedrigen euklidischen Distanzen der Konzepte 2 und 3: „Einatmung“ und „Erster Ton“. Die Verbindung von Konzept 3 und 2 ist der vielleicht markanteste Unterschied zwischen den Dendrogrammen: Für den Experten ist, bedingt durch ein sehr konsistentes Entscheidungsverhalten und der daraus resultierenden sehr niedrigen euklidischen Distanz völlig klar, dass die BACs „Einatmung“ und „Erster Ton“ zusammengehören müssen. Für die beiden Gruppen scheint dieser Zusammenhang weniger klar: Sie verbinden beide übereinstimmend Konzept 1 und 3. Besonders auffällig ist auch die Verbindung von Konzept 10 mit Konzept 1: Der Experte spricht in diesem Zusammenhang von einer Verwobenheit. Mit den eigenen Worten Giringers ausgedrückt:

Bei den meisten Beispielen, die als noch nicht professionell einzustufen sind, finden wir Verknüpfungen innerhalb der ersten Zeitabschnitte, nämlich bis zur Atmung und auch weitere in den zweiten Zeitabschnitten, also bis zum letzten Ton. Bei wenigen, professionelleren Spielern, finden wir bereits Verknüpfungen über die Atmung hinaus und auch über die letzten jeweils klingenden Töne. Etwas einfacher formuliert könnte man sagen: Es gibt keinen wirklichen Anfang und kein Ende. Alles ist miteinander verwoben. Die negativen Auswirkungen bei Verknüpfungen nur innerhalb einer Atemlänge sind deutlich hörbar. Plötzlicher Dynamikanstieg bei Tonanfängen, Intonationsschwächen bei den Schlusstönen und musikalische Pausen während der Atmung dokumentieren das Fehlen größerer Zusammenhänge. Wenn die zuletzt beschriebenen Verknüpfungen hergestellt werden, bietet sich dem Hörer ein interessanteres Klangbild. Es steht nicht mehr die körperliche Notwendigkeit der Atmung akustisch im Vordergrund, sondern die gedachte und komponierte Linie wird als musikalisches Ganzes erfahren.

Man erkennt also, im Gegensatz zu den beiden Gruppenstrukturen, die Verknüpfung von Anfangs- mit dem Endton, die keiner der beiden Gruppen produziert. Diese verbinden BAC 9 und 10 nach rein zeitlichen, also oberflächlichen Gesichtspunkten. Aus künstlerischer Sicht

reißt die Bewegung nach dem letzten Knoten ab. Bei der Expertenstruktur zeigt sich auch, wie wenig offenbar zeitliche Gesichtspunkte für die Bewegungsproduktion in der Bewegungsrepräsentation verankert sind. So könnte man durchaus schließen, dass weniger professionelle Spieler hauptsächlich an einem korrekten zeitlichen Ablauf der Atemmuster interessiert sind, Experten hingegen eher an musikalisch-künstlerischen Gesichtspunkten unabhängig von der Zeitstruktur.

Für die beiden Gruppenstrukturen kann ein statistischer Vergleich durchgeführt werden, um deren Strukturen auf Invarianz, das heißt, Gleichheit zu prüfen. Dies geschieht mittels des Invarianzmaßes λ . Das Maß λ kann nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Ist $\lambda = 0$, liegt keine, ist $\lambda = 1$, liegt vollständige Invarianz vor. Das Schwellenkriterium für die strukturelle Invarianz wird auf $\lambda = 0.7$ definitiv festgelegt. Eine strukturelle Invarianz liegt somit vor, wenn $\lambda \geq \lambda_0$ ist oder in statistischen Termini ausgedrückt: Strukturelle Invarianz liegt dann vor, wenn die Hypothese $H_0: \lambda = \lambda_0$ einseitig verifiziert werden kann. Liegt λ signifikant unterhalb des festgesetzten Wertes von 0.7, liegt keine strukturelle Invarianz vor, das heißt, die Cluster beziehungsweise die Struktur sind nicht gleich (invariant) (Lander & Lange, 1992). Der Vergleich der beiden Cluster ergibt ein Invarianzmaß $\lambda = .71$, das heißt die beiden Cluster sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 1\%$ gleich. Trotz qualitativer Unterscheidung und Klassifizierung anhand der Videodaten in Experten und Nicht-Expertengruppe sind die Strukturen zu ähnlich. Statistisch ist der Unterschied nicht signifikant. Unterschiede lassen sich somit „nur“ auf qualitativer Ebene erschließen und interpretieren. Gleiches gilt für den Vergleich mit dem Experten: auch hier ergibt das Invarianzmaß $\lambda = .71$. Die Strukturen ähneln einander. Unterschiede zwischen Experten und Nicht-Experten sind also vor allem im Detail auf qualitativer Ebene zu suchen: in der Subclusterung, in der zeitlichen Reihenfolge und in den Unterschieden der euklidischen Distanzen zusammengehöriger Konzepte.

Bei der Klassifizierung der Probanden in drei Gruppen nach dem qualitativen Kriterium „Experte“, „Medium-Spieler“ und „Nicht-Experte“ wurden der ersten Gruppe $n = 1$ Spieler, der zweiten Gruppe $n = 3$ Spieler und der dritten Gruppe $n = 4$ Spieler zugeordnet. Die entsprechenden Strukturen stellen sich wie folgt dar:

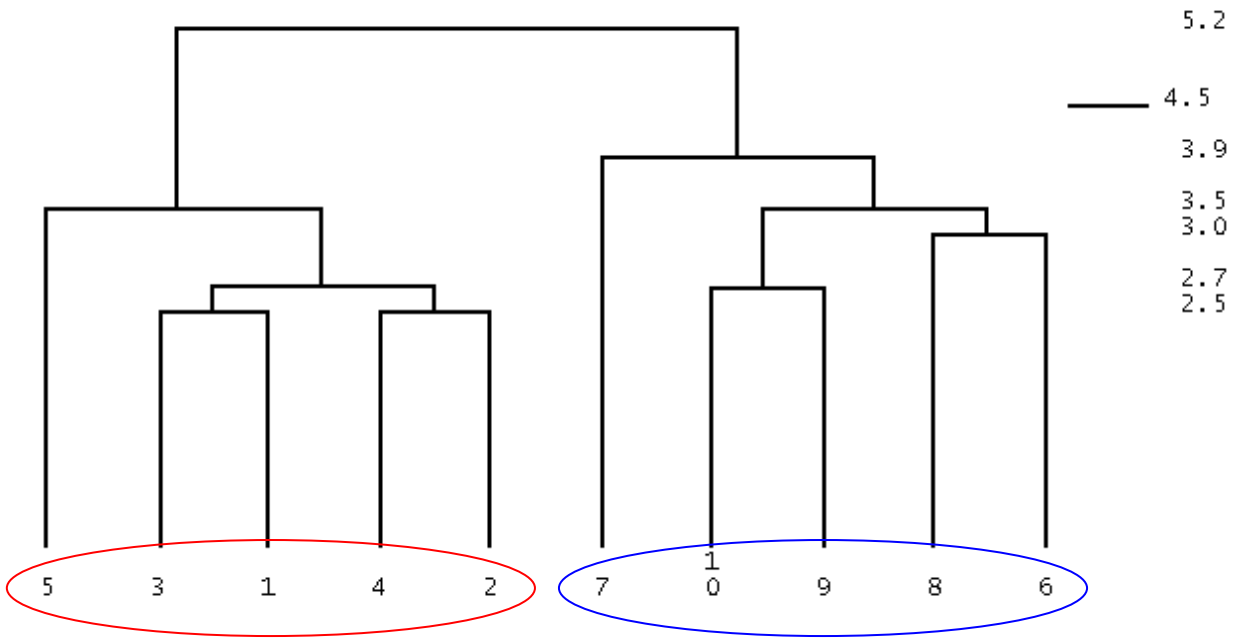


Abb 6. Dendrogramm der Expertenstruktur bei drei Expertisestufen

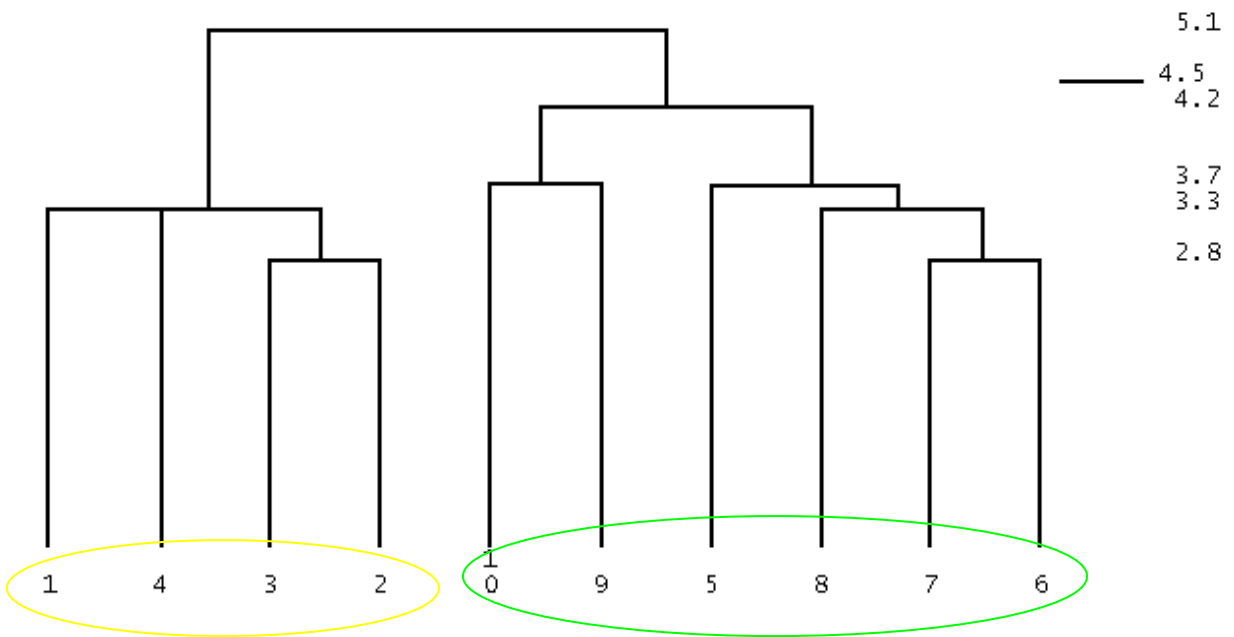


Abb 7. Dendrogramm der Medium-Spieler.

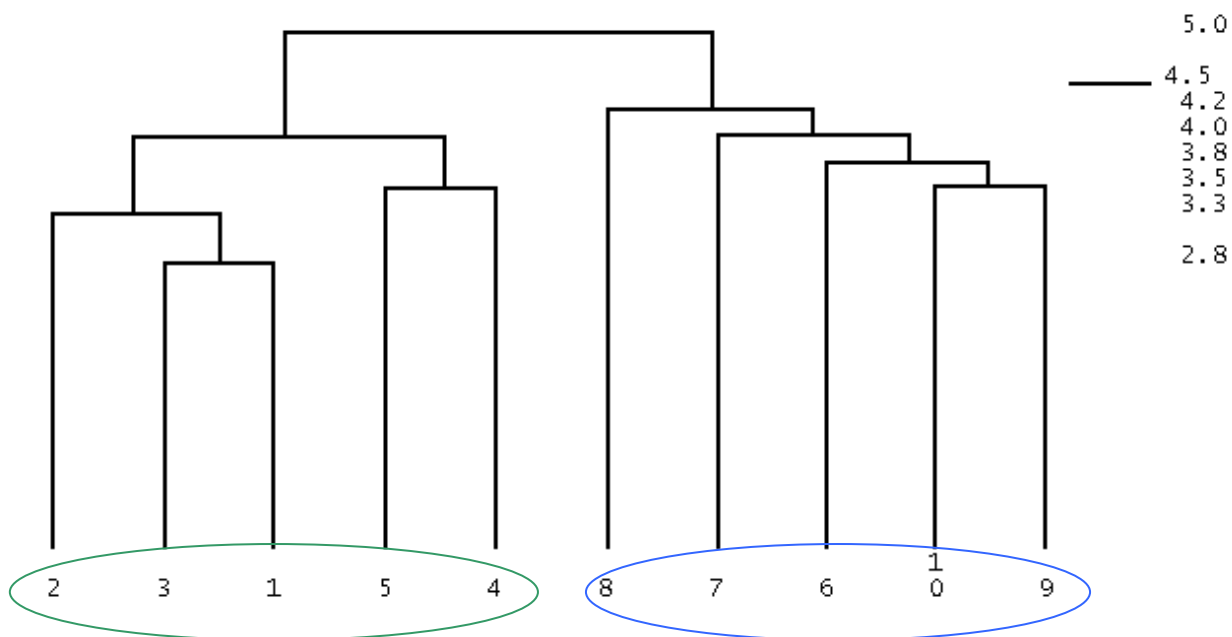


Abb 8. Dendrogramm der Nicht-Experten.

Die Invarianzanalyse auf Gleichheit der Cluster ergibt folgende Resultate: Die erste und die zweite Gruppe unterscheiden sich statistisch nicht signifikant $\lambda = .71$. Die erste und die dritte Gruppe sind vollständig invariant, $\lambda = 1.00$, die zweite und die dritte Gruppe unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant voneinander, $\lambda = .71$. Alle drei Gruppen zeigen große Ähnlichkeit zur Expertenstruktur und sind ebenfalls statistisch nicht signifikant unterschiedlich mit $\lambda = .71$ bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 1\%$.

Bei visuell-qualitativer Inspektion fällt die durchgängige Gliederung der musikalischen Phrase in zwei Teile auf. Die Zusammengehörigkeit von BAC 4 und 5 scheint auf jeden Fall, entsprechend der Analyse des Experten, ein Kennzeichen von Expertise zu sein.

Erstaunlicherweise zeigt gerade die Nicht-Experten-Gruppe genau diese Übereinstimmung mit der Expertenstruktur. Die beiden anderen Gruppen weisen hier Mängel auf. In der Gruppe der vermeintlichen Experten ist die Zusammengehörigkeit nur schwach ausgeprägt, die Medium-Spieler erkennen die Zusammengehörigkeit nicht. Die enge Verknüpfung von BAC 2 und 3 ist in keiner der Gruppen ausreichend vorhanden und mit der Expertenstruktur vergleichbar. Auffällig ist, dass mit abnehmender Expertise die zeitliche Organisation der Konzepte immer wichtiger wird: so zeigen die Nicht-Experten eine sehr stark am temporalen Ablauf orientierte Struktur, während die die Experten hier keine derartige Orientierung aufweisen. Charakteristisch ist bei allen drei Gruppen die vom Experten dezidiert ausgeschlossene Verknüpfung von BAC 9 und BAC 10. Besonders stark repräsentiert ist diese bei den Experten. Die Zusammengehörigkeit von Konzept 4 und 5 wird nur von den

Nicht-Experten richtig erkannt, allenfalls noch von der Expertengruppe richtig zugeordnet. Auffällig ist, dass die vertikalen euklidischen Distanzen bei der Expertengruppe am niedrigsten sind. Die Probanden dieser Gruppe sind sich in ihren Entscheidungen am sichersten und weisen das konsistenteste Entscheidungsmuster auf. Die beiden anderen Gruppen entscheiden inkonsistenter und sich unsicherer. Dennoch ist dieser Effekt, obwohl vorhanden, marginal. Eine deutliche Subclusterung, die definitiv nicht den Vorstellungen und der Struktur des Experten entspricht, ist die Zusammengehörigkeit von BAC 9 und 10. Hier unterscheidet sich die Expertenstruktur deutlich. Generell kann man festhalten, dass vor allem bei den Konzepten 4 und 5 sowie 9 und 10 sowie 1 die größten Unterschiede zur Expertenstruktur liegen: Der Experte sieht die Bewegung als unendlich, in sich geschlossen und clustert dementsprechend, alle anderen Probanden sehen die Aufgabe als zwei unterschiedliche Teile an, die mit der letzten jeweiligen Teilbewegung (BAC 4 oder 5 beziehungsweise BAC 10) abgeschlossen werden. Die Unterschiedlichkeit im Detail der verschiedenen Strukturen impliziert Trainingsmöglichkeiten zur gezielten Verbesserung der internen Bewegungsrepräsentation.

Diskussion

In der vorliegenden Studie unternahmen die Autoren Frauscher, Girlinger und Holzinger unter Bezugnahme auf eine etablierte Untersuchungsmethodik im Sport den Versuch, Bewegungsrepräsentationen von Atemmustern bei Querflötisten zu untersuchen. Mittels der Strukturdimensionalen Analyse-Motorik (SDA-M) wurden auf Basis von Entscheidungsdaten Dendrogramme der Bewegungsstruktur erstellt und statistisch ausgewertet. Es zeigt sich, dass Spieler unterschiedlichen Niveaus unterschiedliche Bewegungsrepräsentationen ausbilden. Die Unterschiede sind zwar nach dieser Analyse statistisch nicht signifikant, aber dennoch vorhanden. Wie sind solche Unterschiede zu bewerten und welche Schlüsse können daraus gezogen werden?

Forschungen mit der SDA-M werden in der Regel nach dem Experten-Novizen-Paradigma durchgeführt. Zunächst werden Expertenstrukturen ermittelt, die dann gleichsam als Referenzgröße mit den Strukturen anderer Könnensstufen abgeglichen werden. Wie Schack (2010) in zahllosen Studien nachweisen konnte, gleichen sich mit zunehmendem spielerischen Niveau die internen Bewegungsrepräsentationen immer mehr aneinander an. Je höher das Niveau, umso ähnlicher die Bewegungsrepräsentation; Expertenstrukturen sind in der Regel invariant. Diese Tatsache ermöglicht einen Zugang zum Bewegungslernen direkt über die mentale Repräsentation, das heißt, nicht nur die praktische Ausführung der Bewegung dient

als Ausgangsbasis für Korrekturen, sondern auch die mentale Repräsentation weist auf Defizite hin. Diese Erkenntnis ist nicht trivial, kann doch das Scheitern einer Bewegungsausführung viele verschiedene Gründe haben, die nicht direkt aus dem beobachtbaren Verhalten erschlossen werden können. Schack (2004) spricht in diesem Zusammenhang auch von „Repräsentationsblindheit“. Für die Praxis bedeutet dies, dass eine mangelhafte Bewegungsausführung immer auch mit der Art und Weise, wie eine Bewegung konzeptuell im Langzeitgedächtnis repräsentiert ist, zusammenhängt. Wenn durch die Analyse der mentalen Struktur klar wird, welche Konzepte fehlerhaft miteinander verknüpft sind, kann gezielt an dieser Stelle durch geeignete Trainingsmaßnahmen angesetzt werden: Dies kann mentales Training der Bewegungsvorstellung sein, Bildreihenanalyse, Videoanalyse oder auch, im Falle einer perfekten, expertenähnlichen Struktur, Konditionstraining. Dies muss von Fall zu Fall - oder besser – von Struktur zu Struktur vom Trainer/Lehrer entschieden werden.

Die hohe Invarianz der Strukturen in dieser Studie ist zweifellos auf die Operationalisierung zurückzuführen. So mussten die Autoren eine Gradwanderung meistern: Das Atemmuster musste so distinkt wie möglich beschrieben werden, gleichzeitig aber auch so allgemein, dass jedem Probanden klar ist, wie die Konzepte zu verstehen sind. Der hohe Allgemeinheitsgrad könnte hier ein Problem darstellen. Durch die große Einfachheit in der Zuordnung gab es nicht so viele Möglichkeiten, die Konzepte sinnvoll anzuordnen. Dennoch sind die Autoren erstaunt, dass die zeitliche Ordnung eine untergeordnete Rolle zu spielen scheint: lediglich bei der Betrachtung von Einzelfällen taucht eine perfekte zeitliche Ordnung fallweise auf, nicht aber im Gruppenvergleich. Die mentale Repräsentation von Atembewegungsmustern folgt offenbar anderen Gesichtspunkten als einem temporalen. Die Expertenstruktur sowie die Expertenmeinung scheinen dies zu bestätigen.

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass die in der Sportpsychologie bereits seit Jahren eingesetzte Methodik der SDA-M sinnvoll auch für Musiker eingesetzt werden kann. Die daraus entstehenden Strukturen der mentalen Bewegungsrepräsentation geben individuell und gruppenspezifisch Auskunft über den Könnensstand sowie Defizite in der Langzeitgedächtnisrepräsentation. Im Bereich der Operationalisierung, hier insbesondere bei der Erstellung von Bewegungskonzepten, ist für zukünftige Studien noch viele Arbeit zu leisten. Biomechanische Analysen, 3-D-Analysen und Reaktionszeitexperimente können hier viel zur Erschließung der mentalen Repräsentation bei Musikern beitragen. Eine Übertragung der Methodik auf andere Instrumente scheint sinnvoll und wird von Frauscher (in Arbeit) derzeit auf zyklische Schlagzeugbewegungen übertragen. In dieser Studie wurden

ausschließlich Langzeitgedächtnisstrukturen diskutiert. Die Zusammenarbeit von Kurz- und Langzeitgedächtnis, vor allem in Hinblick auf expertiseabhängige und konzeptbezogene Chunking-Prozesse, eröffnet ein weiteres Forschungsfeld der kognitiv-perzeptuellen Sichtweise der Bewegungssteuerung und -organisation.

Literatur

Anderson, J. R. (2007). *Kognitive Psychologie*. 6. Auflage. Heidelberg: Springer.

Asendorpf, J. (2009). *Persönlichkeitspsychologie – für Bachelor*. Heidelberg: Springer.

Baars, B. J. (1980). Eliciting predictable speech errors in the laboratory. In: V. A. Fromkin (Ed.), *Errors in linguistic performance: Slips of the tongue, ear, pen, and hand* (pp. 307-318). New York: Academic Press.

Bernstein, N. A. (1987). *Bewegungsphysiologie*. 2. durchgesehene und erweiterte Auflage. Leipzig: Barth.

Frauscher, C. (2009). The Cognitive Architecture of Complex Movement: Mental Representations for Alternating Single Strokes Between Hands and Feet on the Drum-set. In: A. Mornell (Ed.), *Art in Motion. Musical & Athletic Motor Learning & Performance*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 188-189.

Grudin, J. (1983). Non-hierarchical specification of components in transcription typewriting. *Acta Psychologica*, 54, 249-262.

Hoffmann, J. (1986). *Die Welt der Begriffe. Psychologische Untersuchungen zur Organisation des menschlichen Wissens*. Weinheim: Beltz.

Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.

Hoffmann, J., Stoecker, C. & Kunde, W. (2004). Anticipatory control of actions. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2, 346-361.

Hoffmann, J., Butz, M. V., Herbort, O., Kiesel, A. & Lenhard, A. (2007). Spekulationen zur Struktur ideo-motorischer Beziehungen. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 14(3), 95-103.

Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G. & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC). A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 849-878.

Hommel, B. (2008). Planung und exekutive Kontrolle von Handlungen. In: J. Müsseler (Hg.). *Allgemeine Psychologie*. 2. neu bearbeitete Auflage. S. 684-737. Heidelberg: Springer.

Jeannerod, M. (1981). Intersegmental coordination during reaching at natural objects. In: J. Long & A. Baddeley (Eds.). *Attention and Performance IX* (pp. 153-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 187-245.

Jeannerod, M. (1997). *The cognitive neuroscience of action*. Oxford: Blackwell.

Keele, S. W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387-403.

Kelso, J. A. S. & Tuller, B. (1984). A dynamical basis for action systems. In: M. S. Gazzaniga (Ed.), *Handbook of cognitive neuroscience* (pp. 321-356). New York: Academic Press.

Koch, I., Keller, P. & Prinz, W. (2004). The ideomotor approach to action control: Implications for skilled performance. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2, 362-375.

Knuf, L., Aschersleben, G. & Prinz, W. (2001). An analysis of ideomotor action. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 779-798.

Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 387-394.

Kunde, W. & Weigelt, M. (2005). Goal-congruency in bimanual object manipulation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 145-156.

Lander, H.-J. (1991). Ein methodischer Ansatz zur Ermittlung der Struktur und der Dimensionierung einer intern repräsentierten Begriffsmenge. *Zeitschrift für Psychologie*, 198, 167-176.

Lander, H.-J. & Lange, K. (1992). Eine differentialpsychologische Analyse begrifflich-strukturierten Wissens. *Zeitschrift für Psychologie*, 200, 181-197.

Lander, H.-J. & Lange, K. (1996). Untersuchungen zur Struktur- und Dimensionsanalyse begrifflich repräsentierten Wissens. *Zeitschrift für Psychologie*, 204, 55-74.

Lander, H.-J. (1998). Ein methodischer Ansatz zur Ermittlung der Strukturiertheit und der Dimensionierung einer intern-repräsentierten Begriffsmenge unter differentiellem Aspekt. In: E. Witruk (Hrsg.), *Differentielle Lernpsychologie – Grundlagen und Anwendungsfelder* (S. 142-151). Leipzig: Universitätsverlag.

Mayer, J. & Hermann H.-D. (2011). *Mentales Training*. 2. Auflage. Heidelberg: Springer.

Mechner, F. (2004). A psychological approach to human voluntary movement. *Journal of Motor Behavior*, 36, 355-370.

Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129-154.

Prinz, W. (2005). Representational foundations of intentional action. In: G. Knoblich, I. Thornton, M. Grosjean & M. Shiffrar (Eds.), *The human body: Perception from the inside out* (pp. 393-412). New York: Oxford University Press.

Rosenbaum, D. A. & Jorgensen, M. J. (1992). Planning macroscopic aspects of manual control. *Human Movement Science*, 11, 61-69.

Schack, T. (2004). The Cognitive Architecture of Complex Movement. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2, 403-438.

Schack, T. (2005). Bausteine der Handlungssteuerung – Bezüge zu motorischer Kontrolle und mentalem Training. In: S. Leuchte (Hg.), *Sportmotorik – Konzepte, Repräsentationen und Visionen. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Band 149*, 53-61.

Schack, T. & Mechsner, F. (2006). Representation of motor skills in human long-term memory. *Neuroscience Letters*, 391, 77-81.

Schack, T. (2007). Repräsentation und Bewegungssteuerung – die kognitiv-perzeptuelle Perspektive. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 14(3), 104-113.

Schack, T. (2009). The Architecture of Motion. In: A. Mornell (Ed.), *Art in Motion. Musical & Athletic Motor Learning & Performance*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 161-187.

Schack, T. (2010). *Die Kognitive Architektur menschlicher Bewegungen. Innovative Zugänge für Psychologie, Sportwissenschaft und Robotik*. Dissertations- und Habilitationsschriftenreihe, Band 21. Aachen: Meyer & Meyer.

Schmid, R. A. & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. 4th edition. Champaign IL: Human Kinetics.

Spijkers, W., Heuer, H., Kleinsorge, T. & van der Loo, H. (1997). Preparation of bimanual movements with same and different amplitudes: Specification interference as revealed by action time. *Acta Psychologica*, 96, 207-227.

Stürmer, S. (2009). *Sozialpsychologie*. München: Ernst Reinhardt.

Wallace, R. J. (1971). S-R compatibility and the idea of a response code. *Journal of Experimental Psychology*, 88, 354-360.

Weigelt, M., Kunde, W. & Prinz, W. (2006). End-state comfort in bimanual object manipulation. *Experimental Psychology* 53(2), 143-148.