
Strukturanalyse biomechanischer Bewegungsmuster und mentaler Technikrepräsentationen in Sportsportarten – ein interdisziplinärer Ansatz¹

Thomas Jaitner*, Thomas Schack**

*Universität Leipzig

Sportwissenschaftliche Fakultät

**Deutsche Sporthochschule Köln

Psychologisches Institut

1 Forschungsproblem

Um in Sportsportarten auf hohem Leistungsniveau erfolgreich zu sein, muss ein Sportler die beherrschten sportmotorischen Fertigkeiten oder Bewegungstechniken vielfältig und in unvorhersehbarer Weise variieren können (Martin, Carl, & Lehnertz, 1991; Roth, 1989). Eine „erfolgreiche“ variable Verfügbarkeit von Fertigkeiten in unterschiedlichsten Aufgabensituationen hängt dabei wesentlich davon ab, ob der Sportler auf der Basis der Situationswahrnehmung und –antizipation adäquate technischen Lösungen (Bewegungstechniken) auswählt und die ausgewählten Bewegungstechniken stabil gegenüber äußeren und inneren Störungen ausführt (u.a. Martin et al., 1991). In der Trainingspraxis erweist sich gerade der zweite Aspekt als problematisch. Unter Stress, z.B. unter hohem Zeitdruck oder unter hohem Erfolgsdruck in spielentscheidenden Situationen werden Bewegungstechniken vielfach störanfällig und instabil, woraus meist eine erhöhte Fehler-rate resultiert.

Ergebnisse psychologischer Studien (Schack & Brauner, 2001) deuten darauf hin, dass Defizite in der mentalen Technikrepräsentation zu Fehlern in der Bewegungsausführung und zu einer Destabilisierung führen. Aus trainingswissenschaftlicher und biomechanischer Sicht besteht hier ungeachtet der unbestritten hohen Bedeutung der Stabilität von Bewegungstechniken in den Sportspielen jedoch ein erhebliches Forschungsdefizit. In einem interdisziplinären Ansatz, der auf eine Synthese zwischen quantitativen Verfahren der Bewegungsanalyse und kognitionspsychologisch ausgerichteten Analyseverfahren zielt, wurden kinematische Bewegungsmerkmale und -muster des frontalen Angriffsschlags im Volleyball sowie mentale Repräsentationen der sportmotorischer Bewegungstechnik erfasst und hinsichtlich ihre gegenseitigen Wechselwirkung analysiert.

¹ VF 0407/05/04/2002

2 Untersuchungsverfahren

2.1 Biomechanische Analysen

An insgesamt elf Ligaspielen der Wettkampfsaison 2002/2003 sowie anlässlich eines Trainingswettkampfs wurden kinematische Daten von 17 männlichen Volleyballspielern (Regional- und Bundesliga) aufgezeichnet (gesamt: N = 102 Messungen). Mit zwei geschwenkten Hochfrequenzvideokameras der Fa. Redlake wurden die Bewegungsabläufe der Spieler beim Angriffsschlag mit einer Aufnahmefrequenz von 125-250Hz gefilmt. In vergleichbarer Weise erfolgte im genannten Zeitraum die Erhebung kinematischer Daten von 15 weiblichen Spielerinnen (Verbandsliga) (gesamt: N = 90 Messungen). Die aufgezeichneten Angriffsschläge wurden dreidimensional unter Verwendung des Panning-Verfahrens auf der Basis des DLT-Algorithmus ausgewertet. Die statistische Datenanalyse erfolgte sowohl anhand zeitdiskreter Parameter als auch mittels eines Verfahrens zur verlaufsorientierten Bewegungsanalyse komplexer Bewegungsmuster (Schöllhorn, 1999). Hierbei wurde ein Vergleich von kinematischen Bewegungsmustern anhand von Distanz- bzw. Ähnlichkeitsmaßen vorgenommen.

2.2 Experimentelle Analyse Mentaler Technikrepräsentationen – SDA-M -

In insgesamt 32 Einzelexperimenten wurden die mentalen Technikrepräsentationen aller Probanden erfasst. Der Ausgangspunkt dieser Experimente ist die Annahme, dass Bewegungsrepräsentationen konzeptuell strukturiert sind und somit solche Basic Action Concepts (BAC; Knotenpunkte der Bewegung) die kognitiven Einheiten des Systems bilden. Die Relationen zwischen den konzeptuellen Einheiten einer Bewegungsrepräsentation bestimmen deren Struktur. Unter der Struktur einer Bewegungsrepräsentation wird dabei die interne Gruppierung (Clusterung), seine konzeptuellen Einheiten, in einzelne Teilbereiche verstanden (vgl. Schack, 2001)

Der methodische Zugang zur Ermittlung der Struktur Bewegungsrepräsentationen ist als strukturdimensionale Analyse (Split-Paradigma) konzipiert. Dieser Ansatz besteht aus vier Schritten. Zunächst geht es um eine Abstandsskalierung zwischen den relevanten Konzepten. Dieser Schritt wird computergestützt im Rahmen des Experiments durch ein spezifisches Skalierungsverfahren (sukszessives, hierarchisches Splitting) realisiert. Der nächste Teilschritt besteht in einer Strukturanalyse des verwendeten Konzept-Materials mittels einer hierarchischen Clusteranalyse. Ein weiterer Teilschritt besteht in einer Dimensionsanalyse der ermittelten Konzept-Cluster mittels Faktoranalyse auf der Basis eines spezifisch clusterorientierten Rotationsverfahrens. Der intra- und interindividuelle Vergleich von Bewegungsrepräsentationen wird schließlich über eine Invarianzanalyse möglich.

3 Ergebnisse

3.1 Experimentelle Analyse Mentaler Technikrepräsentationen

Die Resultate der experimentellen Analyse Mentaler Technikrepräsentationen werden beispielhaft anhand eines Dendrogramms (Ergebnis der hierarchischen Clusteranalyse) verdeutlicht.

DENDROGRAMM mentaler Technikrepräsentationen:

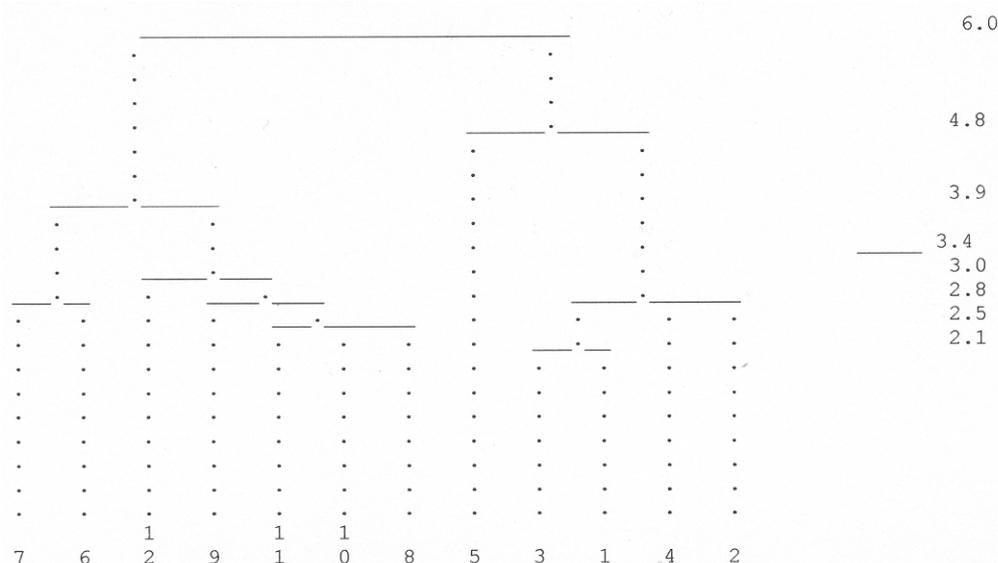


Abb. 1: Ein individuelles Repräsentationsprofil eines Spielers der untersuchten Mannschaften in Leipzig (MP) als Ergebnis der Clusteranalyse ($\alpha = 5\%$; $dkrit = 3.38$); je niedriger der Wert einer Querverbindung zwischen den Untersuchungseinheiten (vgl. die Werteskala euklidischer Distanzen, rechts), desto geringer ist die Distanz der Konzepte

Die Liste der verwendeten Knotenpunkte umfasst dabei folgende Konzepte (in Klammern sind die Bewegungsphasen zugeordnet):

1. Zurückführen der Arme	2. Stemmschritt	3. Beugung Knie+ Rumpf	(Anlauf)
4. Doppelarmschwung	5. Bein Streckung		(Absprung)
6. Bogenspannung	7. Schlagarm zurück	8. hoher Ellenbogen	(Schlagvorbereitung)
9. Blick auf Block			(einzelnes Konzept für Antizipation)
10. Schlag aus Handgelenk	11. peitsch. Streckung Arm	12. Schlagarm durchschwingen	(Schlag)

Das Dendrogramm von Spieler MP zeigt eine differenzierte Phaseneinteilung, die vergleichbar mit dem Referenzdendrogramm der Nationalmannschaftsspielerin ist. Anlauf und Absprung werden innerhalb des Clusters nochmals separiert, jedoch wird die Bein-
streckung (5) komplett weggeordnet. Die Schlagbewegung wird unterteilt in eine Schlag-
vorbereitung (6-7) und den eigentlichen Schlag (8-9-10-11-12). Die Gruppierung des Kno-
tenpunkts 12 deutet darauf hin, dass der Spieler den Arm nach der Ballberührung durch-
schwingt und nicht abbremst, wie es u.a. im Frauenbereich vom Bundestrainer gefordert
wird (vgl. ergänzend zur Interpretation Schack et al., 2001; Schack, Sainz de la Torre, &
Engel, 2001). Im Gesamten scheinen die Bundesliga- und Regionalligaspieler jedoch im
Vergleich zu den Spielerinnen der Nationalmannschaften über weniger stark ausgeprägte
und differenzierte Bewegungsvorstellungen zu verfügen. Die Unterschiede zwischen den
Männern und Frauen lassen sich hier weniger mit einem unterschiedlichem
Leistungsniveau (Bundesliga/Regionalliga vs. Nationalmannschaft) begründen, zumal zur
Stichprobe der Volleyballspieler ebenfalls Spieler mit internationaler Erfahrung und Nati-
onalmannschaftseinsätzen im Männer- und Juniorenbereich zählen. Die Ergebnisse deuten
eher darauf hin, dass im Bereich der psychisch-mentalenen Fähigkeiten erhebliche Ressour-
cen für das Techniktraining der Männer liegen, die durch ein gezieltes psychologisches
Training zur Leistungssteigerung genutzt werden könnten und sollten.

Die Technikrepräsentationen der Spielerinnen auf dem Niveau der Verbandsliga zeigen
eine Struktur, die für eine stabile Ausführung des Angriffsschlages auf diesem Spielniveau
ausreicht. Die Konzepte für die Phasen Anlauf und Absprung scheinen weitgehend sepa-
riert, jedoch nicht ganz so eindeutig, wie bei den Spielerinnen der Nationalmannschaft.
Eine Verbandsligaspielerin ordnet beispielsweise den Doppelarmschwung und die Bogen-
spannung dem Absprung zu, während diese Konzepte bei Nationalmannschaftsmitgliedern
dem Anlauf respektive der Schlagvorbereitung zugeordnet werden. Eine separate Schlag-
vorbereitungs-Phase ist in der Technikrepräsentation oftmals nicht zu erkennen.

3.2 Biomechanische Analysen

Die Resultate der verlaufsorientierten biomechanischen Analysen werden exemplarisch für
die Angreifer einer untersuchten Bundesligamannschaft dargestellt. Abbildung 2 zeigt die
Ergebnisse der Clusteranalyse aller Winkel- und Winkelgeschwindigkeitsmerkmale für die
Probanden MP, BM und EB.

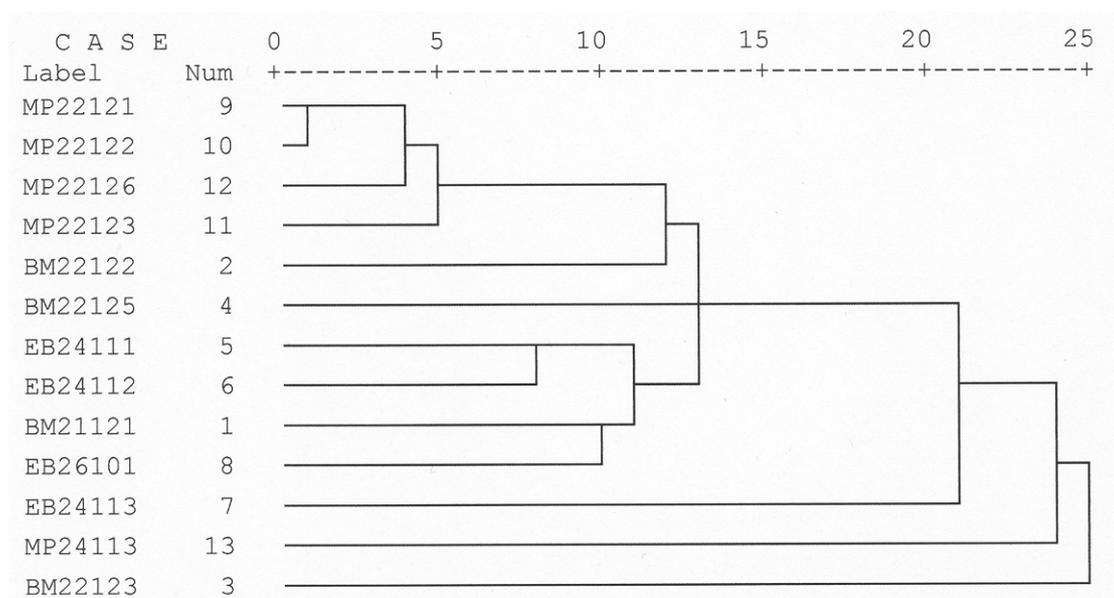


Abb. 2: Ergebnisse der verlaufsorientierte Analyse aller Winkel- und Winkelgeschwindigkeitsmerkmale. Das Dendrogramm zeigt die Ergebnisse der hierarchischen Clusteranalyse

Angriffsschläge von EB und MP werden durch die Clusteranalyse weitgehend individuenbezogen gruppiert. Geringe Distanzen zwischen Angriffsversuchen des Probanden MP deuten auf eine hohe Stabilität der Bewegungsmuster, wobei die größeren Distanzen der Versuche MP22123 und MP22126 möglicherweise eine geringere Stabilität in Stresssituationen indizieren. Auch bei EB zeigen sich vergleichsweise geringe intraindividuelle Schwankungen in der Bewegungsausführung, während die Gruppierung der Angriffsversuche von BM auf eine hohe Variabilität bzw. geringe Stabilität der Bewegungstechnik deuten.

Interessant wird die Interpretation der Ergebnisse im Zusammenhang mit den Resultaten der experimentellen Analysen der Mentalen Technikrepräsentationen (vgl. 3.1). Spieler MP zeichnet sich durch eine klar strukturierte Bewegungsvorstellung aus, die sich – bezogen auf die Bewegungsausführung – in einer hohen Stabilität der Bewegungsmuster auch in solchen Situationen manifestiert, in denen der Proband erheblichem Stress ausgesetzt ist. Das Mentale Technikprofil von Spieler BM zeigte eine differenzierte Bewegungsvorstellung bezogen auf die Phasen Anlauf und Absprung, während die Schlagvorbereitung und Schlagphase defizitär strukturiert waren. Die Clusteranalyse unter Berücksichtigung aller Winkel- und Winkelgeschwindigkeitsmerkmale zeigt hier zunächst eine relativ geringe Ähnlichkeit zwischen den Bewegungsmustern unterschiedlicher Angriffsversuche. Berücksichtigt man bei der Analyse nur diejenigen Variablen, die Bewegungen des Oberkörpers (die auch ursächlich die Schlagbewegung charakterisieren) bzw. des Unterkörpers (die Absprungbewegungen wesentlich beschreiben) betreffen, zeigt

sich ein differenziertes Bild, das einen engen Zusammenhang zwischen Bewegungsvorstellung und Bewegungsverlauf belegt.

3.3 Verknüpfung kinematischer Parameter und kognitiver Daten

Daten

Ein wesentliches Ziel des Projektes bestand darin, einen interdisziplinären Ansatz zu entwickeln. Die Ausführungen im vorangegangenen Kapitel belegen bereits qualitativ erste Ergebnisse dieser interdisziplinären Vorgehensweisen und zeigen einen engen Zusammenhang zwischen mentalen und motorischen Komponenten der Bewegungsausführung auf. Aufbauend auf diesem Ansatz sollte es möglich werden, auch quantitativ zu ermitteln, inwieweit die Auswahl einer sportlichen Technik (die Technikverfügbarkeit) mit dem erlebten Stress in einer Spielsituation in Verbindung steht. Diese Analysen sollen dann Ableitungen für spezifische Trainingsbausteine eröffnen. Zunächst sollen hier erste Ergebnisse der quantitativen Analysen vorgestellt werden. Dabei werden bereits Konsequenzen für Trainingsansätze deutlich.

Die Verknüpfung der Daten der kinematischen und strukturdimensionalen Analysen gestattet Aussagen zur Abbildung kinematischer Parameter in der Mentalen Repräsentation. Konkret werden euklidische Distanzen der Clusteranalyse zwischen zwei Bewegungskonzepten mit der Ausprägung kinematischer Parameter in Beziehung gesetzt. Tabelle 1 zeigt die Daten der interdisziplinären Analyse an ausgewählten Spielern und Spielerinnen. Zielparameter war in diesem Fall die Geschwindigkeit der Hand vor Ballkollision.

Tab. 1: Beziehung zwischen euklidischen Distanzen verschiedener Bewegungskonzepte und der Geschwindigkeit der Schlaghand vor Ballkollision (\bar{v}_{Hand}). Die Konzepte sind: 2) Beugung Knie/Rumpf, 3) Stemmschritt, 6) Bogenspannung, 7) Blick auf den Block, 10) hoher Ellbogen, 11) peitschenartige Streckung des Armes, 12) Schlagarm zurück.

Bewegungskonzepte	Korrelation mit
2-6	-.69*
3-7	.65*
6-11	.81**
7-10	-.82**
7-12	-.72*
(* = $p < .05$; ** = $p < .01$)	

Eine zunächst hypothetische Betrachtung legt nahe, dass die in Tabelle 1 aufgeführten Distanzen der Bewegungskonzepte für das Zustandekommen der (möglichst hohen) Geschwindigkeit der Hand vor Ballkollision zuständig sein müssen. Die Bogenspannung bspw. bereitet den Windup-Effekt der Beugeschlinge des Körpers vor (Distanz der Konzepte: 6-11), um so einen erhöhten Impulsaustausch zwischen Athletin und Ball herstellen zu können. Offensichtlich steht die Distanz der Konzepte 6-11 und 7-10 in einem ausgesprochen engen Zusammenhang mit der Geschwindigkeit der Schlaghand vor der Ballkollision. Die Varianzaufklärung der in Tabelle 2 aufgeführten Beziehungen (multiple Korrelationen) liegt bei 81 % und ist von daher als hoch einzuschätzen. Diese Resultate legen erste Schlussfolgerungen für die Trainingssteuerung nahe. Sobald strukturierte Technikrepräsentationen und eine entsprechende Bewegungskinematik vorliegen, können einzelne Komponenten der Technikausführung auf der Basis des etablierten Ansatzes gezielt optimiert werden. Die dargestellten Daten können in jedem Einzelfall ermittelt werden. Somit kann auch das Techniktraining in jedem Einzelfall optimiert werden, indem solche Phasen bzw. Knotenpunkte der Technik trainiert werden, die in einem hohen Zusammenhang zu dem gewünschten kinematischen Parameter (z.B. Geschwindigkeit der Schlaghand) stehen.

4 Literatur

- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (1991). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf.
- Roth, K. (1989). *Taktik im Sportspiel*. Schorndorf.
- Schack, T. (2001). On the Structure of Movement Representations – Theoretical Assumptions and Methodical approach. *Motor Control and Learning*.
- Schack, T. & Brauner, S. (2001). Zwischenbericht zum Projekt ProMent (gefördert durch das BISp, VF 0407/10/07/2001). Bonn.
- Schack, T., Sainz de la Torre, N., & Engel, F. (2001). Mentale Repräsentationen und Leistung im Volleyball – Bezüge zum Mentalen Training. In R. Seiler, D. Birrer, J. Schmid, & S. Valkanover (Hrsg.), *Sportpsychologie – Anforderungen, Anwendungen, Auswirkungen* (S. 134-136). Köln.
- Schöllhorn, W.I. (1999). Complex individual movement styles identified by means of a simple pattern recognition method. In P. Parisi, F. Pigozzi, & G. Prinzi (Eds.), *Proceedings of the 4th annual Congress of the European College of Sports Science* (pp. 494). Rome.

