

HEINZ MECHLING

## **Signalparameter, motorische Kontrolle und Handlungsregulation**

### **Einleitung**

Wie andere verhaltens- und handlungsorientierte Wissenschaftsdisziplinen unterliegt die Sportwissenschaft und insbesondere die Teildisziplin Bewegungswissenschaft seit langem einem unaufhaltsamen Trend zur Spezialisierung. Dieser wird als konsequente Antwort auf die zunehmende Komplexität der Fragestellungen verstanden. Für die Sportwissenschaft insgesamt, aber auch für eine handlungsorientierte Bewegungswissenschaft hat diese Entwicklung auch desintegrierende Wirkungen. Diese führen wiederum zu einer gewissen Unzufriedenheit, weil die Frage, wie die Einzelteile wieder zusammengeführt werden, nicht beantwortet wird oder auch nicht beantwortet werden kann. Trotz aller funktioneller Spezialisierungen seiner einzelnen Systembestandteile ist unser Körper als Einheit nicht nur sichtbar, sondern muss auch in seinen untrennbaren Zusammenhängen analysiert werden. Dies gilt umsomehr für die Identität der Person, denn „We humans ... have no doubt whatsoever, that it is us, and us alone, that direct the motions of our bodies. ... the most fundamental kind of consciousness, the awareness of self, springs from the ground of spontaneous self-organized activity“ (Kelso, 2002, 370).

„Selbstverständlich ist es dem Forscher völlig freigestellt, an welcher Stelle des Systems er seine Tiefbohrung ansetzt, sofern er nur weiß, wo sie in Bezug auf das ganze System gelegen ist“. Wie das Zitat von Konrad Lorenz (1978, 46) belegt sind solche Auffassungen keineswegs neu: In unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen sind insbesondere in Verbindung mit der Erforschung und theoretischen Fundierung von kognitiven Vorgängen zunehmend empirische Ansätze zu finden, die einen Anspruch auf ihren Beitrag zu einem größeren theoretischen – oft noch nicht festgelegten – Zusammenhang beinhalten. Ansätze zu integrierenden Theorien sind mit den „Referential dynamics of cognition and action“ von Pressing (1999) der „Emulation theory of representation, motor control, imagery and perception“ von Grush (2003), einer „Integrated theory of mind“ von Anderson et al. (2004) oder der „Integrated science of the person“ von Mischel (2004) verbunden. Allen Newell hat über Jahrzehnte die Notwendigkeit der integrativen Theoriebildung eingefordert und selbst vorangetrieben. Für die Entwicklung komplexer Theorien, insbesondere der Kognitionstheorie, hat er vor separierten Betrachtungen gewarnt: „If a theory covers only part or component, it flirts with trouble from the start. Parts or components are ... important to understand and help to make that theory simple enough to use. But they don't remove a necessity of a theory, that provides a total picture and explains the role of the parts and why they exist.“ (Newell, 1990, 17-18). Die exakte Messung, die präzise Gestaltung und Erfassung von Signalen in empirischen Untersuchungen macht den ordnenden theoretischen Rahmen zu einer unverzichtbaren Notwendigkeit, auch um die Beiträge von Teilsystemen identifizieren, gewichten und für Prognosen nutzen zu können.

## Signale - Signalparameter - Signalinventare

Für diese Betrachtung ist es bedeutsam, zwischen den Signalauffassungen der Nachrichtentechnik und der Handlungsregulation zu unterscheiden, um daraus Schlussfolgerungen für die Handlungsregulation und Handlungsansteuerung unter Hinzuziehung von Messparametern ziehen zu können.

In der Nachrichtentechnik wird unter Signal jeder Sachverhalt (Zeichen) verstanden, der bei festgelegter Codierung Informationen übermittelt. Dabei handelt es sich um wert- oder zeitkontinuierliche Funktionen. Bei deren Speicherung werden Zeitfunktionen (Spannung) in Ortsfunktionen (Physikalische Größen) umgewandelt.

Diese Signalauffassung mag für die unbelebte Natur und auch noch für psychophysikalische Betrachtungen ausreichend sein. Für den Wahrnehmungs-Handlungs-Zusammenhang und die Handlungsregulation haben Signale eine darüber hinausgehende Bedeutung. Sie sind funktional bedeutsame Reize mit handlungsnützlichen Informationen. Sie zeigen Handlungserfordernisse an, ihnen wird Bedeutung beigemessen und sie verlangen eine situationsangemessene Antwortreaktion (vgl. Hacker, 1998). Die Signalparameter als die für die Übertragung einer Information notwendigen Merkmale – deren Werte und der Werteverlauf – müssen in einen übergeordneten Zusammenhang integriert werden. Für die Handlungsregulation muss deren funktionale Bedeutsamkeit berücksichtigt werden. Signalinventare werden im Sinne von Signalverbindungen höherer Ordnung als besondere Form der Gedächtnisrepräsentation bezeichnet. Entscheidend für den Wahrnehmungs-Handlungs-Zusammenhang ist dann die Frage, wie diese bedeutsamen Reize für eine Objekt- und Zielorientierung zustande kommen und wie sie genutzt werden.

Dies bedeutet die Suche nach Präzisionsangeboten für Zielorientierungen und Antworten auf die Frage, wie Signale einzelner Sinnes- und Informationskanäle genutzt und wie sie zu neuen Informationseinheiten integriert werden. Dies führt zu einer der Kernfragen der motorischen Kontrolle und Handlungsregulation: Wie entstehen aus Intentionen Befehle an die Muskulatur.

## Handlungsregulation

Der Ausgangspunkt Zielorientierung führt eindeutig zu der Frage nach der Situation und der Veränderung der Situation durch Bewegungsaktivitäten und damit direkt zu Fragen der Wahrnehmung und Antizipation (vgl. Hoffmann, 1993). Die Wahrnehmung selbst muss daher als Grundlage und notwendige Voraussetzung für die Handlungssteuerung betrachtet werden (vgl. Gibson 1979; Rubinstein, 1977). Die Wahrnehmung bestimmt somit darüber, was und wie etwas getan werden muss. Die sensorischen Signale aus der Umwelt oder der Bewegung müssen so miteinander verbunden werden, dass Objekte und Situationen im Hinblick auf Handlungsoptionen richtig eingeschätzt werden können. Dabei können sensorische Vorgänge bzw. das daraus entstandene Wahrnehmungswissen geteilt vorliegen, oder kontrovers sein. Unser Erleben ist trotzdem immer eindeutig einheitlich. Daher ist anzunehmen, dass verschiedene interne Repräsentationen für die Handlungssteuerung und das Erleben vorliegen. Die *Wahrnehmungskonstanz* wird durch eine

Reihe von objektbezogenen Konstanzphänomenen wie *Form*, *Größe*, *Farbe*, *Hel-  
ligkeit* und *Position* oder situativ durch *Funktion* und *Bedeutung* beschrieben  
(vgl. Walsh und Kulikowski, 1998).

Da nicht alle den Sinnesorganen vorliegenden Informationen in gleichem Ausmaße  
verbreitet und verarbeitet werden, spielt für weitere Überlegungen die Verbindung  
zwischen Wahrnehmung und Aufmerksamkeit eine bedeutsame Rolle. Die Frage  
danach, was selektiert wird, führt zu der Unterscheidung zwischen willkürlicher  
(intentional) und unwillkürlicher (nicht intentional) Aufmerksamkeitsorientierung.  
Darüber hinaus führt die hier gewählte Thematik zu wichtigen Unterscheidungen  
zwischen unimodalen oder multimodalen/crossmodalen Sinnesmodalitäten und  
deren Einfluss.

Die Wirkungen und Zusammenhänge uni- und bimodaler Aufmerksamkeitseffekte  
wurden relativ isoliert und primär unter unimodalen Gesichtspunkten untersucht.  
Multimodale bzw. crossmodale Aufmerksamkeitseffekte wurden von Spence und  
Driver (1996) beschrieben. Nach ihren Aussagen ziehen auditive Hinweise unwill-  
kürlich visuelle und taktile Aufmerksamkeit auf sich. Taktile Hinweise führen zu  
unwillkürlicher visueller und auditiver Aufmerksamkeitsorientierung. Visuelle Hin-  
weisreize lösen unwillkürlich taktile Aufmerksamkeit aus. Von der Ausrichtung  
auditiver Aufmerksamkeit profitiert die Verarbeitung visueller Reize. Zur Wirkung  
multimodaler bzw. crossmodaler Informationsverarbeitung liegen allerdings wider-  
sprüchliche Ergebnisse vor. So postulieren Driver und Spence (1998), dass die  
Wirkung von visuell auf auditiv nicht vorhanden, bzw. viel geringer ist als umge-  
kehrt. Sie bestätigen eine Asymmetrie der Auslösung unwillkürlicher Aufmerksam-  
keit zwischen visueller und auditiver Modalität. Ward et al. (2000) beschreiben  
deutliche Effekte von visueller Information auf auditiv räumliche Zusammenhänge  
und können keine generelle Asymmetrie feststellen.

### **„Amodale“ Information und Handlung**

Die Crux des Wahrnehmungs-Handlungsproblems haben Carello und Turvey  
(2004) prägnant zusammengefasst „... people are aware of the unchanging proper-  
ties of objects even though their contact with them is changing constantly. ... Reli-  
able perception implies that the changing forces and motions have to be linked by  
some property that does not change as they do.“ (2004, S. 25). Damit wird nicht die  
Existenz physikalischer Parameter und ihres Einflusses auf die Rezeptoren in Fra-  
ge gestellt. Die Überführung dieser Parameter in eine reliable und valide Wahr-  
nehmung setzt allerdings ein System voraus, das nicht mit diesen Parametern vari-  
iert. Verbunden mit der Frage, wie der sensorische Input konvergiert, müssen zeit-  
invariante Parameter identifiziert und beschrieben werden.

Neuere empirisch gestützte Angebote sind in der intersensorischen Redundanz-  
hypothese (IRH) von Bahrlick und Lickliter (2002; Bahrlick et al. 2004) zu finden. Mit  
dem *Redundanzbegriff* gehen sie über den nachrichtentechnisch definierten Begriff  
hinaus und betrachten das mehrfache Vorhandensein funktions-, inhalts- oder we-  
sensgleicher Objekte als Redundanz. Diese Redundanz drückt sich aus in *amoda-  
len Informationen*, die *Zeit* (Synchronität), *Raum* (Konstanz von Objekt und

Schallquelle) sowie *Intensität* (Tempo, Rhythmus) umfassen. Beispiel hierfür sind, dass Händeklatschen und das Ballprellen. Bei beiden entsteht eine visuelle und akustische Korrespondenz von Objekt bzw. Ereignis und Schallquelle. Die amodale Information kann somit als grundlegend für das Lernen von bedeutungsvollen (intermodal redundante Anreize), konsistent auftretenden Objekten und Ereignissen angenommen werden. Diese intersensorische Redundanz unterstützt die Aufmerksamkeitszuwendung zu situativ entscheidenden Reizen. Sie schwächt die Aufmerksamkeit für nicht redundante Stimuli und erleichtert Wahrnehmung, Lernen und Gedächtnis für redundante oder amodale Stimuluseigenschaften (vgl. Bahrick et al. 2004, S. 99; Effenberg, 2004; S. 14).

## Schluss

Vorausgesetzt, dass die Invariantenbildung für Wahrnehmung und Handeln über amodale Informationen unterstützt und gestärkt wird, verbleibt nach wie vor eine Reihe von Fragen:

- \* Wie beeinflusst die Intention die Aufmerksamkeitslenkung und die Entdeckung der amodalen Informationen?
- \* Welche Invarianten nutzt der Handelnde bei seiner Bewegungsentscheidung bzw. glaubt er zu nutzen?
- \* Wie werden diese Invarianten in Muskelinnervation umgesetzt bzw. wie werden sie durch neue Muskelstrukturen – neue Formen von Invarianten – beeinflusst?
- \* Welche Rolle spielt das somatosensorische System bei der Verarbeitung der Rezeptoraktivitäten?
- \* Wie ist das Verhältnis von Gesamtzustand des Systems zu lokalen Rezeptorvorgängen?

## Literaturverzeichnis

- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). Integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 111(4), 1036–1060.
- Bahrick, L. E., & Lickliter, R. (2002). Intersensory redundancy guides early perceptual and cognitive development. In R. Kail (Ed.), *Advances in Child Development and Behavior* (pp. 153–187). New York: Academic Press.
- Bahrick, L. E., Lickliter, R., & Flom, R. (2004). Intersensory redundancy guides the development of selective attention, perception, and cognition in infancy. *Current Directions in Psychological Science*, 13(3), 99–102.
- Carello, C., & Turvey, M. T. (2004). Physics and psychology of the muscle sense. *Current Directions in Psychological Science*, 13(1), 25–28.
- Driver, J., & Spence, C. (1998). Crossmodal links in spatial attention. *Philosophical Transactions of the Royal Society Section B*, 353, 1319–1331.
- Effenberg, A. O. (2004). *Synergien der Sinne für die Bewegungsregulation*. Frankfurt a. M.: Peter Lang.
- Hacker, W. (1998). *Arbeitspsychologie*. Bern: Huber
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.

- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Austin: Houghton Mifflin.
- Grush, R. (2003). The Emulation Theory of Representation: Motor Control, Imagery, and Perception. *Behavioral and Brain Sciences* (in Press).
- Kelso, J. A. S. (2002). The Complementary Nature of Coordination Dynamics: Self-Organization and Agency. *Non Linear Phenomena in Complex Systems*, 5(4), 364-371.
- Lorenz, K. (1978). *Vergleichende Verhaltensforschung*. Wien/New York: Springer
- Mischel, W. (2004). Toward an Integrated Science of the Person. *Annual Review of Psychology*, 55, 1-23.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press
- Pressing, J. (1999). The Referential Dynamics of Cognition and Action. *Psychological Review*, 106(4), 714-747.
- Rubinstein, S. L. (1977). *Sein und Bewusstsein*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Spence, C., & Driver, J. (1996). Biovisual links in endogenous covert spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 1005-1030.
- Walsh, V., & Kulikowski, J. (Eds). (1998). *Perceptual Constancy: Why Things look as they do*. New York: Cambridge University Press.
- Ward, L. M., McDonald, J. J., & Lin, D. (2000). On asymmetries in cross-modal spatial attention orienting. *Perception and Psychophysics*, 62, 1258-1264.

CORD WESTHOFF & NIKOLAUS F. TROJE

## **Personenidentifikation anhand von biologischer Bewegung – strukturelle und kinematische Parameter**

### **Einleitung**

Die Untersuchung biologischer Bewegung wurde in den 70er Jahren vom schwedischen Forscher Gunnar Johansson in die experimentelle Psychologie eingeführt. Johansson bezeichnete biologische Bewegung als die „charakteristische Art der Fortbewegung von Lebewesen“. Als Gegenstand der Untersuchung benutzte er sog. „Point-Light Displays“ (PLDs). Diese basieren auf Aufnahmen menschlicher Bewegung, wobei die zu Grunde liegende Person nur durch einige wenige Lichtpunkte an den Hauptgelenken des Körpers dargestellt wird. In einer statischen Aufnahme erscheinen diese Lichtpunkte als inhaltslose Punktwolke. Ein kurzes Abspielen der Aufnahmen (200 ms) führt jedoch zu einer stabilen und eindeutigen Wahrnehmung menschlicher Bewegung (Johansson, 1973, 1976).

Seit den ursprünglichen Arbeiten von Johansson haben sich eine Reihe von Studien der Untersuchung der Wahrnehmung biologischer Bewegung gewidmet. Es konnte z. B. gezeigt werden, dass Beobachter die dargestellte Aktion aus PLDs erkennen können (Dittrich, 1993). Darüber hinaus kann die zu Grunde liegende Emotion erkannt werden, sowohl hinsichtlich ihrer Valenz wie auch des Grades der Aktivierung (Pollick et al., 2002). Weiterhin kann das Geschlecht einer Person (Troje, 2002a) sowie ihre Identität wahrgenommen werden. Während in verschiedenen Studien gezeigt werden konnte, dass Beobachter in der Lage sind, die Identität einer Person anhand von PLDs zu erkennen (z. B. Beardsworth & Buckner, 1981; Cutting & Kozlowski, 1977; Stevenage et al. 1999), wurde den dabei relevanten Faktoren bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Daher ist nicht klar, ob Personen z. B. anhand ihrer Größe, Körperstruktur, Schrittfrequenz, oder anhand der Art ihrer Bewegungen identifiziert werden können.

### **Methode**

Durch den Einsatz eines „Motion Capture“ Systems wurden die Gangmuster verschiedener Personen aufgenommen. Hierbei wird zunächst ein Set von reflektierenden Markern am Körper der Person befestigt, deren Position im dreidimensionalen Raum von neun Kameras mit einer räumlichen Auflösung von 1 mm und einer zeitlichen Auflösung von 120 Hz bestimmt wird. Nach biomechanischer Modellierung und Fourier-Transformation der Rohdaten (vgl. Troje, 2002a; 2002b), ist jedes Gangmuster als ein Punkt in einem multidimensionalen Raum repräsentiert. Der entsprechende Vektor erhält Einträge für die Größe einer Person, ihre Körperstruktur (d. h., die durchschnittliche Position der Marker über die Zeit), ihre fundamentale Schrittfrequenz sowie die übrigen kinematischen Parameter in den Fourier-Komponenten. Diese Repräsentation erlaubt die unabhängige Variation der Parameter, z. B. die Normalisierung einzelner Faktoren über eine Gruppe von Gangmustern.

## Studie 1

In der ersten Studie wurde untersucht, welche Rolle die Parameter Größe, Struktur und Schrittfrequenz bei der Wiedererkennung von individuellen PLDs spielen (Troje et al., 2005). Die VPn (N = 18) lernten, sieben verschiedene männliche Gangmuster aus einer von drei Perspektiven (Frontal, FV; Halb-Profil, HV; Profil, PV) zu benennen. Das Training fand an fünf aufeinander folgenden Tagen statt. In jedem Trial mussten die VPn das gezeigte Gangmuster einem von sieben Namen unter Feedback zuordnen. Im Laufe der Trainingssitzungen wurde nacheinander die Größe, Struktur und Schrittfrequenz der PLDs normalisiert, so dass diese Faktoren keinen individuellen Wiedererkennungswert mehr besaßen. Am Ende des Experiments fand ein zusätzlicher Testdurchgang statt, in dem die Generalisierung der Wiedererkennung auf die anderen Blickwinkel überprüft wurde.

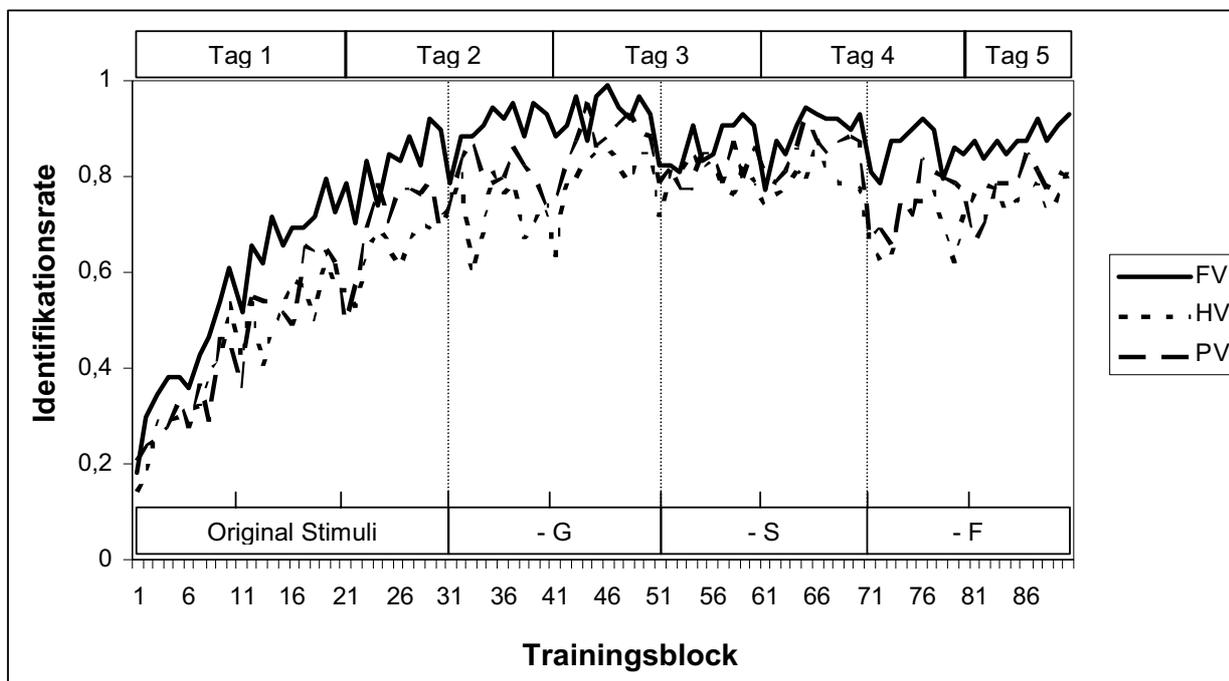


Abb. 1: Lernkurven in Studie 1. – G: Größe norm.; – S: Größe u. Struktur norm.; – F: Größe, Struktur u. Frequenz norm.; FV: Frontalansicht; HV: Halb-Profil Ansicht; PV: Profilansicht.

Alle drei Gruppen (eingeteilt nach Blickwinkel) zeigten eine ansteigende Lernkurve im Laufe der Trainings mit den originalen Stimuli. Nach den ersten drei Sitzungen erreichte die Leistung ein Niveau von 70-90% korrekt erkannter Gangmuster (Abb. 1). Um den Einfluss der drei Faktoren zu berechnen, wurde die mittlere Leistung der jeweils letzten drei Trainingsblöcke vor der Normalisierung mit der mittleren Leistung in den ersten drei Blöcken nach der Normalisierung verglichen. Nach der Normalisierung von Struktur und Schrittfrequenz zeigte sich eine signifikante Verschlechterung der Wiedererkennung, nicht jedoch nach der Normalisierung der Größe der PLDs (Abb. 2). Die Überprüfung der Generalisierungsleistung zeigte in allen Gruppen eine signifikante Verschlechterung der Leistung, wenn der Blickwinkel im Testdurchgang von demjenigen im Training abwich (Abb. 3). Alle Ergebnisse blieben jedoch signifikant über Zufallsniveau (14%).

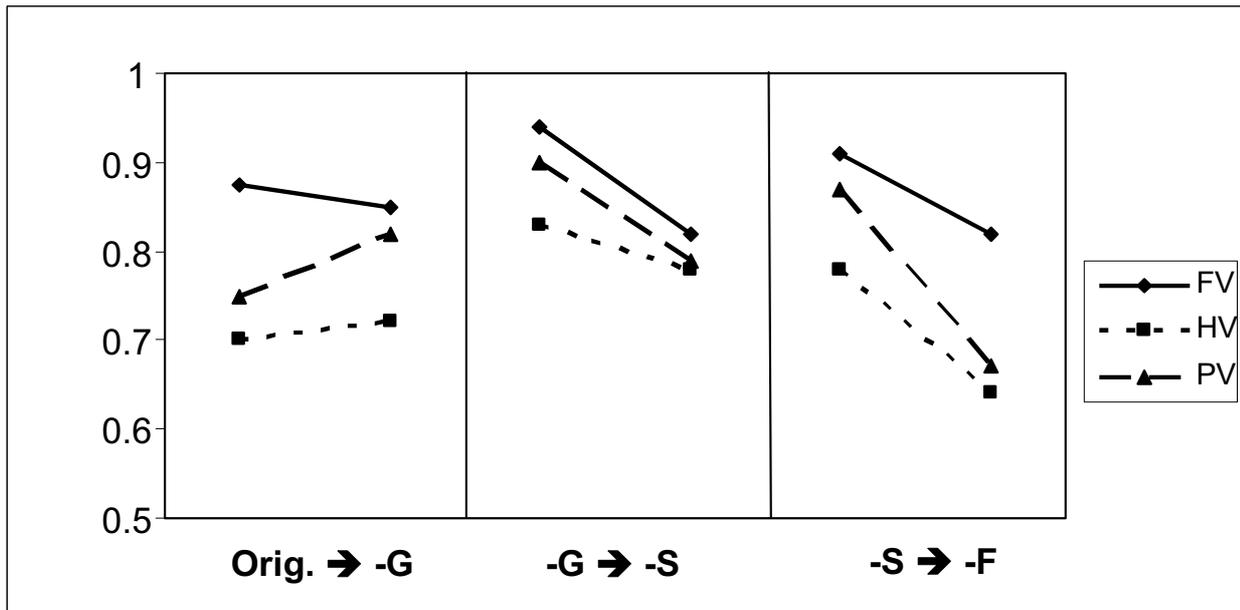


Abb. 2: Effekte der Normalisierung in Studie 1. FV: Frontalansicht; HV: Halb-Profil Ansicht; PV: Profilsansicht.

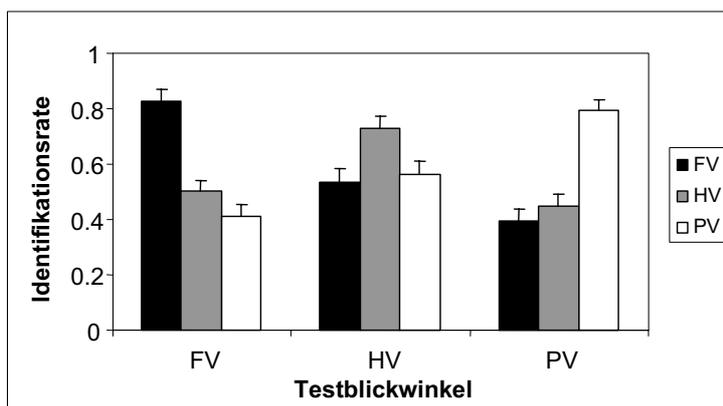


Abb. 3: Generalisierungsleistung der drei Gruppen (Balken) in Studie 1 über alle Blickwinkel (x-Achse). FV: Frontalansicht; HV: Halb-Profil Ansicht; PV: Profilsansicht.

Trotz Normalisierung der drei Parameter betrug die Wiedererkennungsrates am Ende des Experiments ca. 80-90% (vgl. Abb. 1). Die übrigen kinematischen Parameter, die in den Fourier-Komponenten codiert werden, müssen also noch viel individuelle Information enthalten, die zur Identifikation individueller Gangmuster genutzt werden kann. In der zweiten Studie wurden diese kinematischen Faktoren daher genauer untersucht.

## Studie 2

Die Stimuli, die in der zweiten Studie verwendet wurden, waren bereits hinsichtlich Größe, Struktur und Schrittfrequenz normalisiert, um die individuelle Information auf die kinematischen Parameter zu beschränken. In zwei Experimenten wurde die Rolle der Harmonischen der Fourier-Analyse bzw. des Phasen- und Amplitudenspektrums der Gangmuster überprüft. Hierzu wurde zunächst ein mittlerer Läufer aus den individuellen Bewegungen erstellt. Für die Teststimuli wurde im ersten Experiment entweder die erste, die zweite oder die dritte bis fünfte Harmonische dieses Läufers durch die individuellen Harmonischen der originalen Läufer ersetzt, so dass diese nur anhand der jeweiligen Harmonischen identifizierbar waren. Im zweiten Experiment wurde entweder das komplette Phasen-Spektrum des mittleren Läufers, welches die zeitliche Relation der Punkte zueinander kodiert, oder das