

**Martin Lames & Florian Walter**

## **Druck machen und Ausspielen – Die relative Phase und die Interaktion in Rückschlagspielen am Beispiel Tennis**

*EXERTING PRESSURE AND MAKING THE RUNNING –  
THE RELATIVE PHASE AND INTERACTION IN RACKET SPORTS  
WITH SPECIAL RESPECT TO TENNIS*

### *Zusammenfassung*

*Die zeitlich veränderliche Interaktion von Spieler und Gegenspieler in den Sportspielen erfordert zur Formulierung eine angemessene Theorie, eine Modellbildung, die diese dynamischen Interaktionen erfassen kann. Zur modellhaften Abbildung dynamischer Interaktionsprozesse wurde in Physik, Soziologie, Meteorologie etc. die Theorie der Dynamischen Systeme vielfach erfolgreich angewandt. Eine Analyse gemäß einer Dynamischen Systemtheorie modelliert Interaktionsverhalten durch Auffinden und Charakterisieren von stabilen Gleichgewichtszuständen im Verhalten eines komplexen Systems. Das Errechnen der relativen Phase gekoppelter Oszillatoren hat sich in jüngerer Vergangenheit als dienliches Instrument für eine systemdynamische Betrachtungsweise von Koordinationsprozessen ausgezeichnet (Kelso, 1995). Es liegen bereits mehrere Ansätze vor, die relative Phase ebenfalls zur Modellierung von Sportspielen einzusetzen. Dieses neue Instrument zeichnet sich nicht nur durch eine Reihe konzeptioneller Vorzüge aus, sondern verspricht auch eine erhebliche Praxisrelevanz. Exemplarisch wird der taktische Verlauf eines Ballwechsels im internationalen Damentennis mit Hilfe der relativen Phase beschrieben. Die verbleibenden methodischen Probleme und die entsprechenden Forschungsprogramme werden diskutiert.*

### *Abstract*

*The dynamic interaction of the players in games requires an appropriate theoretical concept, a model that is able to describe such processes. In the modeling of dynamic interaction processes in physics, sociology, meteorology and other scientific disciplines the theory of dynamic systems has been successfully applied in the past. In this theory interactions are modeled by searching for and characterizing stable equilibrium states in a complex system. The calculation of the relative phase of coupled oscillators has recently turned out to be useful for the analysis of coordinative patterns (Kelso, 1995). There are already several approaches to using the relative phase in order to model games. In addition to showing some considerable conceptual advantages this new instrument promises to be practice-oriented as well. In this article the analysis of a women's top level tennis rally by means of the relative phase will be demonstrated. The remaining methodical problems and perspectives will also be discussed.*

## 1 Problemstellung

### 1.1 Interaktionen im Sportspiel

Sportspiele unterscheiden sich von anderen Sportartengruppen dadurch, dass die Leistung in der Interaktion mit dem Gegner erbracht wird. Ein Sportspiel wird daher als Interaktionsprozess zwischen zwei Parteien aufgefasst, in dem jede Partei gleichzeitig versucht, ihr Spielziel zu erreichen bzw. zu verhindern, dass der Gegner sein Spielziel erreicht (Lames, 1991, 1998). Der Interaktionsprozess muss zudem noch als zeitlich veränderlich betrachtet werden, da das Verhalten der Parteien während eines Spieles nicht als stabil, sondern auch als Reaktion auf vergangenes Verhalten oder auf situative Umstände, wie beispielsweise den Spielstand, anzunehmen ist.

Diese konzeptionellen Überlegungen sind anhand von alltäglichen Erfahrungen in der Sportpraxis schnell zu konkretisieren. Jedermann ist geläufig, dass die registrierbare Leistung, beispielsweise eines Tennisspielers, stark von seinem Gegner abhängt: Gegen schwächere Gegner dominiert man das Spiel, gegen stärkere muss man sich auf defensiveres Verhalten zurückziehen. Jeder kennt Phasen während eines Spiels, in denen es gut „läuft“ und solche, in denen das Niveau nicht gehalten werden kann. Auch sind Verhaltensänderungen aufgrund des Spielstandes Bestandteil der speziellen Trainingslehre des Tennis, wenn sie beispielsweise empfiehlt, zur Verteidigung eines Vorsprunges mehr auf Sicherheit zu spielen, während der Spieler im Rückstand risikoreicher agieren muss, um diesen möglichst wett zu machen.

Alle diese Merkmale der Sportspiele erzeugen große Unterschiede in der Leistungsstruktur beispielsweise zu konditionell determinierten Sportarten wie Kugelstoßen oder Marathonlauf. Hier wird die Leistung viel unabhängiger vom Gegner erbracht, sie hängt eng mit den Leistungsvoraussetzungen zusammen, sie ist relativ stabil und lässt sich recht gut prognostizieren.

Eine Auffassung von Sportspielen als Interaktionsprozessen entspricht also weitgehend den Alltagserfahrungen. Auch in der Trainingswissenschaft besteht sowohl über diese Auffassung als auch über die sich daraus ergebenden Konsequenzen weitgehend Konsens: Weil Sportspielverhalten nicht primär durch die Leistungsvoraussetzungen der beiden Parteien determiniert ist, sondern durch die Wechselwirkung der beiden Sätze von Leistungsvoraussetzungen, weil Sportspielverhalten zeitlich veränderlich vom jeweiligen Spielverlauf geprägt ist und nicht zuletzt weil dem Zufall, dem Unberechenbaren und Unplanbaren im Sportspiel eine wesentlich größere Rolle zukommt als in anderen Sportartengruppen (Lames, 1999), müssen Sportspiele als singuläre Ereignisse, als schlecht determiniert und nur als dynamische Interaktionsprozesse theoretisch adäquat abgebildet betrachtet werden.

Diese Merkmale von Sportspielen zeitigen unangenehme Konsequenzen für ihre wissenschaftliche Behandlung. Das methodische Standardrepertoire der theoretischen und praktischen Leistungsdiagnostik (Letzelter & Letzelter, 1982) kann auf diese Sportartengruppe nicht ohne weiteres angewandt werden:

- Es kann nicht erwartet werden, dass sich aus dem Sportspielverhalten Rückschlüsse auf überdauernde Verhaltensdispositionen (Fähigkeiten und Fertigkeiten) der Spieler ziehen lassen, wenn sich das Verhalten von Spiel zu Spiel, von Spielphase zu Spielphase dynamisch verändert.
- Aus diesem Grund können auch keine praktikablen Normen für die Häufigkeit von Verhaltensweisen ermittelt werden. Wenn diese empirisch trotzdem berechnet werden, dann resultieren häufig unbrauchbar große Spannweiten. So schwankt die Aufschlagfehlerrate im Tennis der Herren-Weltklasse auf Sand zwischen 0% und 70%, ihr 95%-Konfidenzintervall hat eine Breite von 64% (Lames, 1991, S. 165)!
- Schließlich gelingt es auch nicht, die individuelle Sportspielleistung mit einer Maßzahl zu belegen, die eine absolute Gültigkeit beanspruchen könnte, wie z.B. einen Weitsprung von 8,00 Metern. Zwar benötigt die Leistungssportliche Praxis zur Einschätzung einer Spielerleistung eine solche Maßzahl kaum, da für praktische Zwecke wesentlich differenzierter vorgegangen werden muss, aber als aufzuklärendes Kriterium in leistungsdiagnostischen Untersuchungen wäre eine solche Maßzahl überaus wünschenswert.

An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass die genannten Eigenschaften der Sportspiele, die für die geschilderten wissenschaftlichen Unannehmlichkeiten sorgen, natürlich auch für ihre Offenheit, Dramatik und Spannung verantwortlich sind, welche sie zum Lieblingskind der Medien machen.

Für die Sportspieلفorschung muss konstatiert werden, dass es bisher noch nicht überzeugend gelungen ist, eine angemessene theoretische Beschreibung zu finden, die diesen Kern der Sportspiele abbildet. Aus den geschilderten Überlegungen ergeben sich zwei essenzielle Forderungen an eine adäquate Modellierung von Sportspielen: Sie muss sowohl in der Lage sein, die Interaktion zwischen den beiden Parteien abzubilden, als auch die zeitliche Dynamik des Sportspielverhaltens wider spiegeln.

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, das Konzept der relativen Phase aus der Theorie dynamischer Systeme auf das Wettkampfverhalten in Einzel-Rückschlagsspielen zu übertragen. Dazu werden zunächst die bekanntesten Anwendungen der relativen Phase in der Sportwissenschaft referiert und ihr Potenzial zur Erklärung von Interaktion und Dynamik in Einzel-Rückschlagsspielen wie Tennis erörtert. Im Forschungsstand werden bisherige Ansätze in der Sportspieلفorschung zu diesem Thema vorgestellt. Das Methodenkapitel diskutiert die Methode der Berechnung der relativen Phase, für die mehrere Alternativen existieren. Als Ergebnis wird exemplarisch die konkrete Analyse eines Tennisballwechsels mit dem Konzept der relativen Phase präsentiert. Abschließend werden offene Probleme resümiert und die Schritte diskutiert, die noch zu absolvieren sind, um mit dem Paradigma der relativen Phasen in Einzel-Rückschlagsspielen praxiswirksam zu werden.

## 1.2 Die relative Phase und ihre Bedeutung für die Sportspiele

Was bezeichnet man als relative Phase? Die mathematische Definition ist recht einfach: Angenommen werden zwei Objekte, welche jeweils zyklische Bewegungen vollführen: eine Einzelbewegung ist, von der Ausgangsposition, über ihre gesamte Phase hinweg, zurück zur Ausgangsposition, ein Zyklus von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ . Die relative Phase ist nun die Winkeldifferenz zwischen den Positionen zweier Objekte in ihrem Zyklus (vgl. Abb. 1). Bevor nun auf das Erklärungspotenzial der relativen Phase für die Interaktionen im Sportspiel eingegangen wird, soll zunächst die Bedeutung der relativen Phase in der Motorikforschung erläutert werden.

Ökologische Betrachtungsweisen können in der Bewegungswissenschaft vor allem auf internationalem Parkett als etabliert und meinungsführend angesehen werden. Sie haben kognitionslastige Ansätze weitgehend abgelöst, die vor allem von der Übertragung des Paradigmas der Informationsverarbeitung auf die Motorik geprägt worden sind (Neumann, 1993; Perl et al., 2002). Ökologischen Ansätzen ist gemein, dass sie eine ganzheitliche Betrachtungsweise verfolgen und insbesondere die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt in ihre Modellbildung aufnehmen.

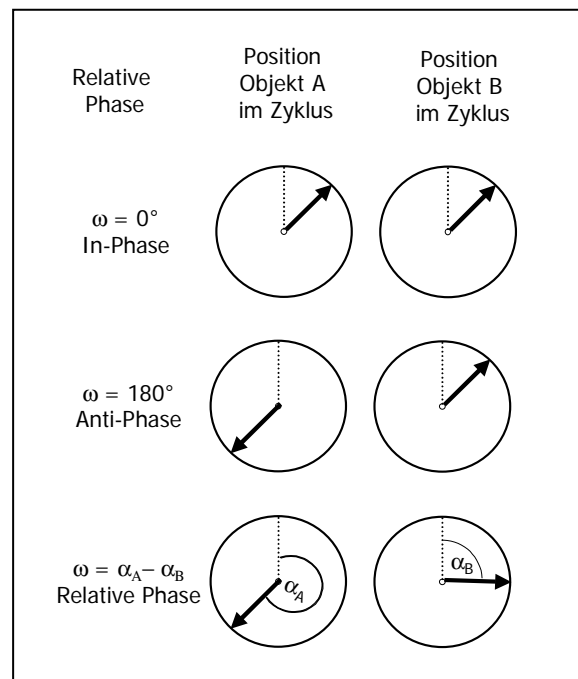


Abb. 1: Definition der relativen Phase

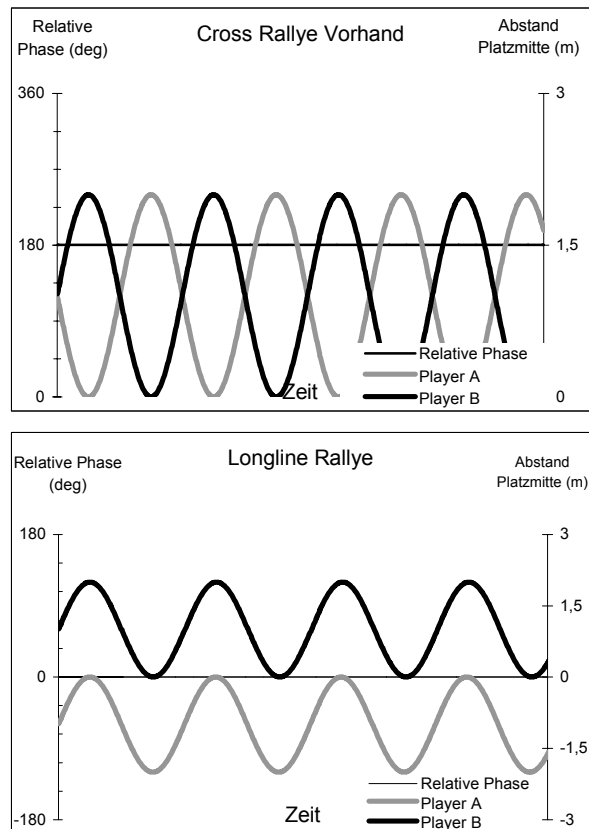
Nach einer Übersicht von Summers (1998) kann man drei Richtungen unterscheiden:

- Der Ansatz der „direct perception“ erklärt menschliches Verhalten durch unmittelbar in der Umwelt wahrgenommene Merkmale. Bekannte Beispiele sind die Variable Tau (Lee, 1976), die als Merkmal optischer „flow-fields“ (Gibson, 1979) die Zeit bis zum Kontakt spezifiziert und so unmittelbar Fang-, Schlag- und Sprungbewegungen beeinflusst, oder der Begriff der „affordances“, mit dem Handlungsmöglichkeiten gemeint sind, die sich unmittelbar aus der Wechselwirkung zwischen Objekteigenschaften und den Möglichkeiten des Individuums ergeben.
- Der „natural physical approach“ (Michaels & Beek, 1996) betrachtet Bewegungen als koordinative Strukturen, die sich selbstorganisiert aus den Eigenschaften des biologischen Systems ergeben (Kugler, Kelso & Turvey, 1980). Beispiel hierfür sind die Untersuchungen zum Jonglieren von Beek (1989).
- Der „dynamical systems“-Ansatz beschäftigt sich mit der mathematischen Modellierung von Bewegungen mit den Werkzeugen der nichtlinearen Dynamik und der Synergetik (Haken, 1990; Haken, Kelso & Bunz, 1985). Koordinationsmuster werden hier als Ordnungsstrukturen verstanden, die sich durch Selbstorganisationsprozesse der Motorik bei spezifischen Eigenschaften von Kontrollparametern einstellen.

Hier betritt nun die relative Phase die Bühne der Bewegungswissenschaft, da sie in fast allen systemdynamischen Untersuchungen als Ordnungsparameter zur Charakterisierung von Koordinationsmustern dienen kann. In den berühmten HKB-Experimenten (Haken, Kelso & Bunz, 1985) werden die Ordnungszustände In-Phase und Anti-Phase als Koordinationsmuster beim zyklischen Beugen und Strecken zweier Finger in ihrer Abhängigkeit vom Kontrollparameter Bewegungsfrequenz untersucht und mathematisch modelliert. Dieses Paradigma hat sich als sehr fruchtbar erwiesen. Es wurde ausgedehnt auf mehrgelenkige Bewegungen (Kelso et al., 1991) und auf die Koordination zwischen verschiedenen Extremitäten (Kelso et al., 1991), auf weitere Koordinationsmuster (DeGuzman & Kelso, 1991) und auf die Koordination zwischen Individuen (Schmidt, Carello & Turvey, 1990). Auch das motorische Lernen wurde mit der Herausbildung stabiler relativer Phasen beschrieben (Zanone & Kelso, 1992; Vereijken, Whiting & Beek, 1992).

Von einer kanadischen Arbeitsgruppe (McGarry et al., 1999) stammt die Idee, die relative Phase auch zur Beschreibung des Wettkampfverhaltens im Sportspiel einzusetzen. In den Einzel-Rückschlagspielen hat man, wenn man die Bewegung von Ruheposition-Schlag-Ruheposition als Zyklus auffasst, zwei Objekte, nämlich die beiden Spieler, die zyklische Bewegungen ausführen. Im Tennis beispielsweise bewegt sich der Spieler von seiner Schlagposition in eine Neutralstellung, eine Position, von der der Spieler glaubt, für den nächsten Schlag die beste Ausgangsposition zu haben. Aus dieser Neutralstellung bewegt er sich zu seiner nächsten Schlagposition und komplettiert so einen Zyklus. Das Gleiche gilt für seinen Gegner, womit man die formale Voraussetzung von zwei sich zyklisch bewegenden Objekten

zur Berechnung der relativen Phase erfüllt hätte.<sup>1</sup> In Abbildung 2 sind die idealisierten Positions-Zeit-Verläufe für eine Cross- und eine Longline-Rallye mit der sich daraus ergebenden relativen Phase veranschaulicht.



**Abb. 2:** Idealisierte Verläufe des Abstandes zur Platzmitte bei einer Cross-Rallye Vorhand und bei einer Longline-Rallye. Die relative Phase ist in beiden Fällen konstant, einmal Anti-Phase (180°, Cross-Rallye) und dann In-Phase (0°, Longline-Rallye).

Mit dieser Strukturierung wird deutlich, dass die relativen Positionen der beiden Spieler in ihrem Zyklus ihre Interaktion in einem Ballwechsel gut beschreiben. Wenn in einer neutralen Phase des Ballwechsels (oder im Training) der Ball nur im Spiel gehalten wird, dann hat jeder Spieler genügend Zeit sowohl die Schlagposition, als auch nach einem Schlag, die Neutralposition wieder zu erreichen. Dieser Zustand

<sup>1</sup> In der speziellen Trainingslehre der Rückschlagspiele Badminton und Squash wird explizit die Einnahme einer Neutralposition in der Platzmitte zwischen zwei Schlägen gefordert.

sollte folglich dadurch charakterisiert sein, dass die relative Phase einen stabilen Wert einnimmt.

Wenn jedoch einer der Spieler versucht, Druck auszuüben, dann wird er durch Platzierung und/oder Geschwindigkeit seiner Schläge seinem Gegner das Erreichen der Bälle erschweren. Dieser kann dann keine statische Neutralposition mehr einnehmen, sondern eilt in höchstem Tempo zum nächsten Schlag. Wenn ein Spieler aktiv einen Punkt erzwingen möchte, dann spielt er so, dass sein Gegner Zeitprobleme hat, sich in seinem Zyklus „verspätet“, also so, dass sich die relative Phase verschiebt. Damit sollten Veränderungen einer ansonsten stabilen relativen Phase das Ausüben von Druck charakterisieren und einem Punktverlust/-gewinn vorangehen.

Nach diesen Überlegungen kann man erwarten, dass sich wesentliche Aspekte der spieltypischen Interaktion zwischen den beiden Spielern im Tennis mit dem Instrument relative Phase erfassen lassen. Aus den positionalen Interaktionen ergeben sich Rückschlüsse auf elementare tennistaktische Verhaltensweisen wie „Druck erzeugen“ oder „den Gegner ausspielen“. Diese Sichtweise rückt ab von einer spielerzentrierten Betrachtung und blickt aus einer ganzheitlichen Perspektive auf das Spiel. Falls es gelingt, die Berechnung der relativen Phase zu routinisieren, stünde der Praxis ein Instrument zur Verfügung, das völlig neue Analysen erlaubt. Die Bewertung von Schlägen anhand des Drucks, den sie erzeugen, die Art und Weise, wie Weltklasse-Spieler sich Vorteile im Ballwechsel verschaffen oder auch wie man sich aus nachteiligen Situationen befreit und die Oberhand in einem Ballwechsel gewinnt, wären mit der relativen Phase einer quantitativen Analyse zugänglich und könnten die Theorie der Einzel-Rückschlagspiele nachhaltig beeinflussen.

## **2 Forschungsstand**

Die rasanten Fortschritte in Computer- und Videotechnologie brachten es in der Vergangenheit mit sich, dass die verfügbare Informationsmenge und der Detaillierungsgrad von Spielbeobachtungen immer größer wurden. Die technische Machbarkeit induzierte einen analytischen Zugang, immer feinere Beobachtungskategorien wurden entwickelt, immer detailliertere Rückmeldungen über das Verhalten wurden möglich (Lames, 1994). Gleichzeitig wuchs jedoch das Unbehagen darüber, ob man aus dieser Informationsflut noch praktischen Nutzen ziehen und mit dieser Vorgehensweise den Kern des Geschehens abbilden kann. Für den Zweck der Wettkampfbetreuung von Sportspielmannschaften wurde deshalb die „Qualitative Spielbeobachtung“ entwickelt, in der das Beobachtungssystem nicht mehr die Generierung möglichst vieler Details zur Aufgabe hat, sondern die Unterstützung gemeinsamer Interpretationen durch Spieler, Trainer und Beobachter, auf deren Basis praktische Maßnahmen abgeleitet werden (Hansen & Lames, 2001).

Aus sportspieltheoretischer Sicht beschreiben Gréhaigne et al. (1997) zur Überwindung des analytischen Standpunktes Fußball als komplexes, dynamisches System. Nicht durch eine Ausdifferenzierung der Analyse, sondern durch Reduktion auf die Besetzung von Räumen und die Dynamik räumlicher Konfigurationen soll das Wesentliche im Fußball erfasst werden: der Kampf um territoriale Dominanz. Gréhaigne

et al. entwickeln eine Symbolsprache, mit der die räumliche Orientierung der Spieler, ihre Geschwindigkeit und ihre Aktionsreichweite dynamisch abgebildet werden können und analysieren mit diesem Instrumentarium charakteristische Spielszenen.

Einen konzeptionell ähnlichen Ansatz im Basketball verfolgen Rigauer und Robbert (2000), die sich auf eine soziologische Feld- und Figurationstheorie nach Lewin und Elias stützen. In diesem sehr originären Ansatz wird eine eigene Analysesprache entwickelt, um räumlich-taktische Strukturen adäquat behandeln zu können. Der Ansatz zeichnet sich darüber hinaus noch durch einen experimentell-interventionistischen Anspruch aus.

McGarry et al. (1999) greifen das Bild des Tanzes auf, das die räumlichen Interaktionen zwischen zwei Spielern im Squash beschreibt. Sie registrieren den Verlauf des Abstandes der Spieler vom Mittelpunkt des Feldes und beschreiben Ballwechsel, die (qualitativ) durch In-Phase- und Anti-Phase-Relationen der Spieler gekennzeichnet sind. Ihr Forschungsinteresse an dieser Untersuchung ist auf die Frage gerichtet, ob sich in diesen räumlichen Darstellungen die subjektiven Einschätzungen von Experten wiederfinden lassen, die Störungen im Spielverlauf diagnostizieren sollten. Diese Frage muss negativ beantwortet werden, was möglicherweise auch der Tatsache geschuldet ist, dass McGarry et al. keine expliziten Berechnungen der kontinuierlichen relativen Phase durchführen, sondern Korrelationen der räumlichen Daten schrittweise vom Anfang und vom Ende des Ballwechsels her betrachten.

Der Systemgedanke wird im Beitrag „Sport competition as a dynamical self-organizing system“ (McGarry et al., 2002) konsequent zu Ende gedacht. Ausgehend von einer Kritik der Auffassung, dass die Sportspilleistung sich aus einzelnen Handlungen zusammensetzt und dass stabile Verhaltensmerkmale bei Spielern und Mannschaften über mehrere Spiele hinweg zu beobachten seien, greifen die Autoren das Prinzip der dynamischen Systeme auf, um sich den Sportspielen weiter theoretisch zu nähern.

Einen Ansatz in diesem Zusammenhang, der nicht mit der relativen Phase arbeitet, stellen die „Perturbations“ aus der Arbeitsgruppe um Hughes dar (Hughes et al., 1998, 2001). Angewendet auf Fußball sind unter Perturbations Störungen des Gleichgewichts im normalen Spiel zu verstehen, die zu einer Torchance führen. Dies kann durch einen überraschenden Pass, ein erfolgreiches Dribbling oder einen Rhythmuswechsel geschehen. Die bisherigen Untersuchungen belegen, dass Experten relativ gut in der Identifikation einer Perturbation übereinstimmen und es wurden erste Unterschiede zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Perturbations herausgestellt, die vor allem die Verantwortung der vorbereitenden Spieler betonen und weniger diejenige der Sturmspitzen. Ein weiteres Ergebnis erster Untersuchungen ist, dass erfolgreiche Mannschaften sich vor allem durch einen besseren Quotienten zwischen erfolglosen und erfolgreichen Perturbations auszeichnen.

Konkrete Berechnungen der relativen Phase im Tennis wurden erstmals von Palut und Zanone (2005) durchgeführt. Vier Tennisspieler von nationalem Niveau wurden instruiert, Ballwechsel zu spielen, in denen sie während der ersten sieben Schläge keinen direkten Punkt anstreben sollten. In insgesamt 40 Ballwechseln wurde die XY-Position der Spieler auf dem Platz mit der Video-Frequenz von 25 Hz registriert.



Die Autoren berechneten die kontinuierliche relative Phase mit Hilfe der Hilbert-Transformation der beiden Verläufe der seitlichen Entfernung von der Platzmitte. Als Ergebnis erhielten sie eine Verteilung der relativen Phase, die zwei Häufungspunkte aufwies. Darüber hinaus identifizierten sie Typen von Ballwechselln, die sich durch stabile relative Phasen (2 Typen) und einen Wechsel der relativen Phase auszeichneten. Da das Interesse der französischen Arbeitsgruppe vor allem auf der Berechnung der relativen Phase liegt, werden kaum tennisspezifische Interpretationen für das Verhalten der relativen Phasen gegeben.

Diese Verknüpfung herzustellen war das Ziel der eigenen Untersuchung. Sie untersucht exemplarisch, ob eine Verbindung zwischen taktischem Verhalten und dem Verlauf der relativen Phase herzustellen ist.

### **3 Methode**

#### **3.1 Stichprobe**

Da zu vermuten ist, dass die relative Phase besonders dann aussagekräftig zur Beschreibung von Ballwechselln im Tennis ist, wenn die positionale Interaktion der Spieler über den Ausgang entscheidet, wurden Videoaufnahmen der Halbfinalen und der Finalen der Damen auf den French Open 2003 zur Analyse herangezogen. Man kann erwarten, dass die Leistungshomogenität der Damen-Weltspitze und der Sandbelag hier längere Ballwechsel mit dem gewünschten Verhalten provozieren.

Aus diesen Spielen wurden dann diejenigen Ballwechsel herausgefiltert, die aus einer längeren Grundlinien-Rallye bestanden, und die auch in diesem Zustand abgeschlossen wurden. Darüber hinaus sollte der Fehler nicht auf einen „unforced error“ zurückgehen, sondern durch die Spielanlage erzwungen werden. Ein entsprechender Ballwechsel (Halbfinale Justine Henin gegen Serena Williams, Punkt zum 0:30 im zweiten Spiel des dritten Satzes, Matchergebnis: 2:6, 6:4, 7:5) wurde ausgewählt und intensiv analysiert.

Diese eher „confirmatorische“ Stichprobenstrategie – man analysiert einen Ballwechsel, von dem man annimmt, dass die relative Phase gut interpretierbar und aussagekräftig ist – rechtfertigt sich aus den Zielen der Untersuchung, die die Durchführbarkeit der Erfassung von positionalen Daten im Wettkampftennis anhand von Videoaufnahmen und die generelle Interpretierbarkeit taktischen Verhaltens anhand des Verlaufs der relativen Phase ermitteln sollte, und der Tatsache, dass es sich um eine erste Anwendung des Paradigmas auf das Wettkampfverhalten im Tennis handelt.

#### **3.2 Die Ermittlung der Positionsdaten**

Von den Spitzenturnieren der Tennis-Weltklasse stehen in der Regel nur TV Video-Mitschnitte zur Verfügung. Günstig für die Erfassung der positionalen Daten ist die Tatsache, dass Tennis-Ballwechsel überwiegend in einer Totalen gezeigt werden. Ungünstig wirkt sich aus, dass auch in dieser Einstellung die Kamera häufig geschwenkt und gezoomt wird, so dass kein konstanter Bildausschnitt vorliegt.

Zur Erfassung der Positionsdaten wurde deshalb eine Tracking-Software („Matchix“, Fa. Simi, Unterschleissheim, Deutschland) eingesetzt. Neben den Spielerinnen wurden 6 fixe Spielfeldmarken (Spielfeldecken, Netzpfosten) getrackt. Die Spielfeldpositionen der Spielerinnen wurden mit Hilfe der Abstände zu diesen Marken für jeden Messzeitpunkt berechnet. In die Auswertung geht nur die laterale (seitliche) Abweichung von der Platzmitte ein, da sich bei Palut und Zanone (2005) gezeigt hat, dass die Bewegung in Richtung Netz zum gegenwärtigen Stand noch nicht interpretierbar ist.

Insgesamt erscheint dieses Verfahren der Positionserfassung praktikabel, wenn natürlich auch weiterhin gewisse Fehlerquellen bestehen. So stellt sich die Frage, mit welchem Punkt eine Spielerin erfasst werden soll. Eine Entscheidung fiel zugunsten der – geschätzten – senkrechten Projektion des KSP auf den Boden. Diese Position ist nicht mit dem Treffpunkt des Balles identisch, was bei Interpretationen zu beachten ist.

Eine Glättung der Daten wird mit einem zentralen Moving-Average der Länge 3 vorgenommen. Dies erscheint vertretbar, da zwar die Aufnahmefrequenz mit 25 Hz für Ganzkörperbewegungen im Tennis relativ hoch ist, aber andererseits Geschwindigkeiten berechnet werden sollen. Abbildung 3 zeigt die Positionsdaten des untersuchten Ballwechsels mit den zugehörigen Schlagzeitpunkten. Der taktische Verlauf wird in Tabelle 1 nachvollzogen.

### **3.3 Die Berechnung der relativen Phase**

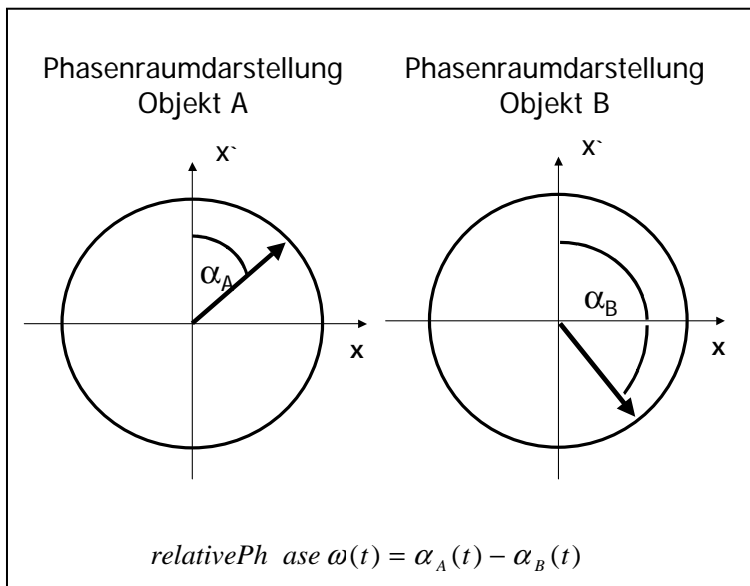
Für die Berechnung der relativen Phase wird in der Literatur (Kelso, 1995; Pikovsky et al., 2001) je nach Anwendungsfall eine Reihe von Methoden aufgezeigt.

Zunächst wird zwischen einer diskreten und einer kontinuierlichen Erfassung unterschieden. Im diskreten Fall wird zum Zeitpunkt eines jeden Zyklusbeginns des ersten Objekts die Position des zweiten Objekts in seinem Zyklus ermittelt. Die so ermittelte relative Phase wird für den gesamten Zyklus als konstant angenommen und erst mit dem Beginn des nächsten Zyklus neu berechnet. Diese Methode kommt dann in Frage, wenn sehr viele Zyklen vorliegen und die Verschiebung der relativen Phase innerhalb eines Zyklus nicht von Interesse ist. In unserem Anwendungsfall liegen dagegen nur sehr wenige Zyklen (Schläge) vor, und die Veränderung der relativen Phase innerhalb eines Zyklus ist von großem Interesse, da sie durch den gegnerischen Schlag bewirkt wird, der sich zwischen zwei eigenen Schlägen ereignet.

Die kontinuierliche relative Phase kann mit direkten und mit indirekten Methoden ermittelt werden.

Eine direkte und sehr intuitive Methode der Berechnung ist es, die Phase aus dem Phasenportrait der Zeitreihen zu gewinnen. Ein Phasenportrait ist eine graphische Darstellung der Bewegung eines Objektes, bei der die Position des Objektes (X-Achse) gegen ihre Ableitung (Y-Achse) abgetragen wird. Zyklische Bewegungen in diesem Phasenraum, der von der Position und der Geschwindigkeit des Objekts im Zyklus aufgespannt wird, beschreiben einen Kreis: Zu jedem Zeitpunkt kann der

Winkel bestimmt werden, den jedes der beiden Objekte auf ihrer Kreisbahn einnimmt; die Differenz dieser Winkel ist per Definition die relative Phase (vgl. Abb. 3).



**Abb. 3: Die Bestimmung der kontinuierlichen relativen Phase im Phasenraum zweier zyklischer Bewegungen**

Kritik an dieser direkten Methode entzündet sich am Sachverhalt, dass empirische Zyklen in der Regel nicht die erforderliche ideale Kreisform aufweisen. Insbesondere in unserem Anwendungsfall Tennis ist es keine Überraschung, dass die Zyklen nur unvollkommen ausgeprägt sind (vgl. Abb. 5), da die Bewegungen unterschiedliche Amplituden und Frequenzen aufweisen und Anfangs- und Endpunkt nie gleich sind.

Eine indirekte Methode arbeitet mit laufenden Kreuzkorrelationen (Palut & Zanone, 2003). Für ein Fenster von der Länge eines Zyklusvielfachen wird die Kreuzkorrelationsfunktion zwischen den beiden Zeitreihen berechnet. Das Lag der höchsten Kreuzkorrelation wird dann als Verschiebung der beiden Zeitreihen gegeneinander interpretiert, was mit der relativen Phase identisch ist.

Eine weitere indirekte Methode ist die Berechnung der relativen Phase mit Hilfe der Hilbert-Transformation. Jede Zeitreihe kann hierbei als komplexe (d.h. mit Real- und Imaginärteil) Funktion ihrer Amplitude und ihrer Phase ausgedrückt werden. Aus der so gewonnenen kontinuierlichen Phase für die beiden Zeitreihen lässt sich nun die relative Phase recht einfach berechnen.

Hilbert Transformation  $\tilde{v}(t)$  :

$$\tilde{v}(t) = v(t) \otimes \frac{1}{\pi} \text{C.H.} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{v(\tau)}{t - \tau} d\tau = \frac{1}{\pi} \lim_{g \rightarrow \infty} \int_{-g}^{+g} \frac{v(\tau)}{t - \tau} d\tau$$

wobei:

C.H. = Cauchyscher Hauptwert des Integrals

Relative Phase  $\Phi(t)$ :

$$\phi(t) = \text{arc} \frac{(s1(t) * H2(t)) - (s2(t) * H1(t))}{(s1(t) * s2(t)) + (H1(t) * H2(t))}$$

wobei:

s1/s2 = realer Teil der Funktion

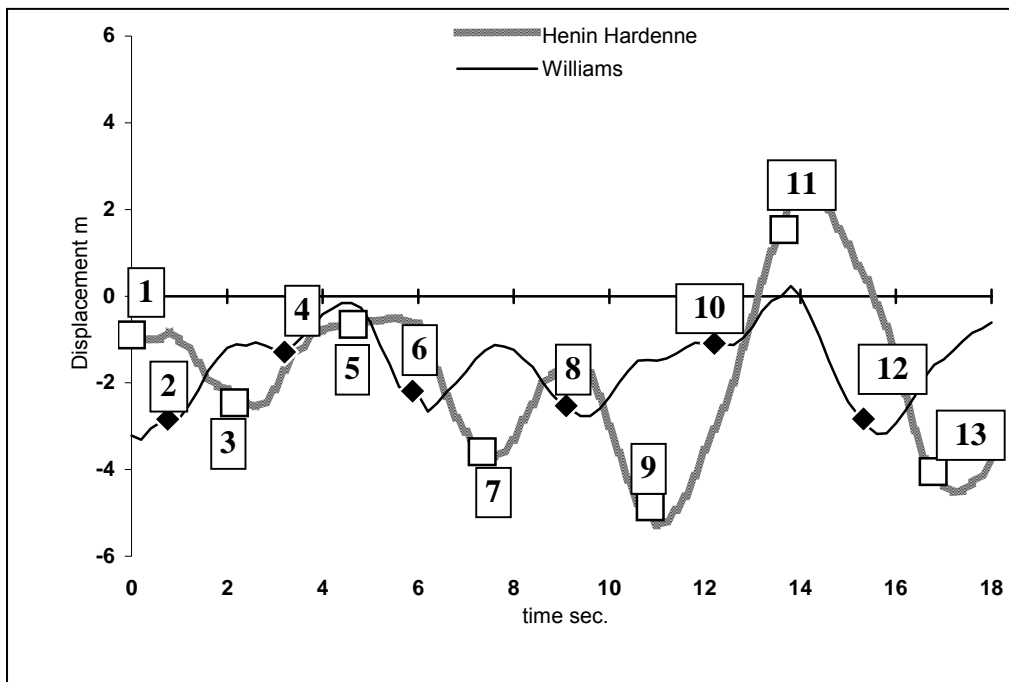
H1/H2 = imaginärer Teil der Funktion

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Beschreibung des taktischen Verlaufs

**Tab. 1: Der Verlauf des untersuchten Ballwechsels**

Nr.	Zeit	Spielerin	Kommentar	
1	0,00	Henin	Aufschlag von RH-Seite durch die Mitte	
2	0,76	Williams	Return in die Mitte	
3	2,16	Henin	RH	Grundlinienschläge durch die Mitte
4	3,20	Williams	RH	
5	4,64	Henin	RH	
6	5,88	Williams	RH kurz cross	Winkelspiel kurz cross durch Williams
7	7,22	Henin	RH slice, tief	
8	9,10	Williams	RH kurz cross	
9	10,86	Henin	RH slice, tief	Wechsel der Schlagrichtung von cross zu longline durch Williams
10	12,20	Williams	RH longline	
11	13,66	Henin	VH topspin hoch	
12	15,32	Williams	RH kurz cross	Nochmaliger Wechsel der Schlagrichtung durch Williams führt zu Fehler von Henin.
13	16,94	Henin	RH slice, Fehler	



**Abb. 4: Positionen der Spielerinnen im untersuchten Ballwechsel mit nummerierten Schlägen (gerade Schlagnummern: Williams/ungerade: Henin-Hardenne)**

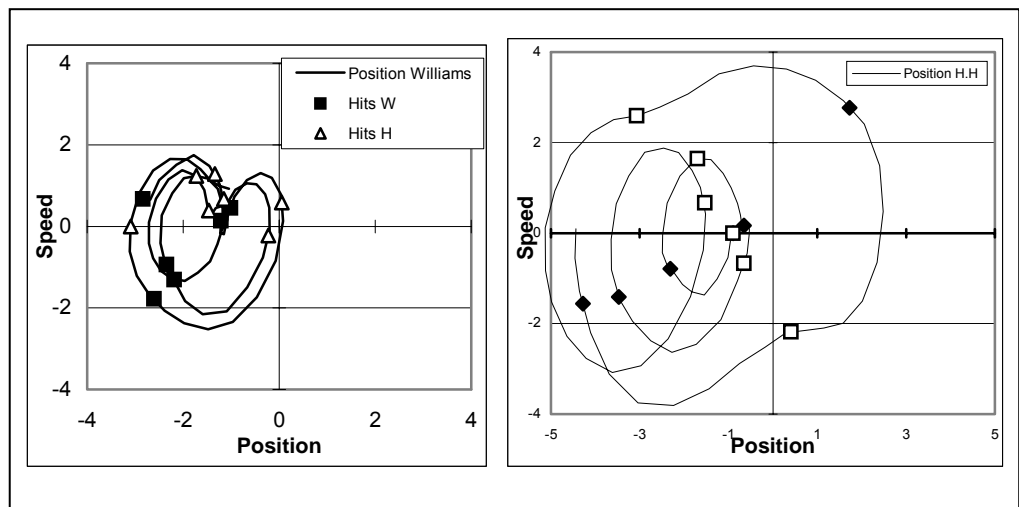
Der taktische Verlauf des untersuchten Ballwechsels ist in Tabelle 1 beschrieben, die Schläge sind in Abbildung 4 dargestellt. Der Verlauf soll zunächst qualitativ analysiert werden, um die einschneidenden Ereignisse zu bestimmen.

Nach einer neutralen Eröffnung mit Aufschlag, Return und drei Grundlinienschlägen durch die Mitte ergreift Serena Williams die Initiative mit einer Rückhand kurz cross (Schlag Nr. 6). Sie zwingt Justine Henin zu einem tiefen Slice (Schlag Nr. 7). Williams wiederholt den Schlag mit einem noch extremeren Winkel und erzwingt wieder die gleiche Antwort (Schlag Nr. 7 & 8). Beide Antworten von Henin sind sehr lang und können daher naturgemäß wenig Druck entfalten. Nun greift Williams zur klassischen Strategie des Ausspielens, sie wechselt die Richtung und spielt den nächsten Schlag longline auf die Vorhandseite (Schlag Nr. 10). Sie zwingt Henin dadurch zu einem langen Laufweg, der mit höchster Geschwindigkeit absolviert werden muss. Henin wählt als Antwort taktisch geschickt einen hohen Topspin (Schlag Nr. 11). Sie braucht aber wegen ihrer hohen Geschwindigkeit relativ lange zur Richtungsumkehr und steht daher unter hohem Druck. Williams nimmt den Ball sehr früh und spielt nun wieder kurz cross auf die Rückhandseite (Schlag Nr. 12). Henin kann diesen Ball gerade noch erlaufen, schlägt den Rückhand-Slice aber an die Netzkante (Schlag Nr. 13).

In diesem Ballwechsel, der exemplarisch für das Ausspielen eines Gegners durch einen Richtungswechsel stehen kann, sind vier Phasen zu unterscheiden: die eher neutrale Eröffnung, das cross-Winkelspiel, die beiden longline-Schläge und schließlich die beiden letzten Schläge.

## 4.2 Phasenraumdarstellung und die Berechnung der relativen Phase

Zunächst wurden die beiden Phasenraumdarstellungen der Laufwege der beiden Spielerinnen aus den Positionsdaten abgeleitet. In Abbildung 5 ist zu sehen, dass diese Darstellung auch eine hohe Aussagekraft als Beschreibung des Ballwechsels hat, da Positionen und Geschwindigkeiten markante Eigenschaften darstellen. Weiter sieht man, dass durch diese Art der Darstellung die Schlagzyklen tatsächlich auf einer kreisförmigen Bahn abgebildet werden, die aber weit von einer geschlossenen Kurve entfernt bleibt. Dies gilt insbesondere für Williams, die ihr Spiel relativ stationär auf der Rückhandseite bestreitet.

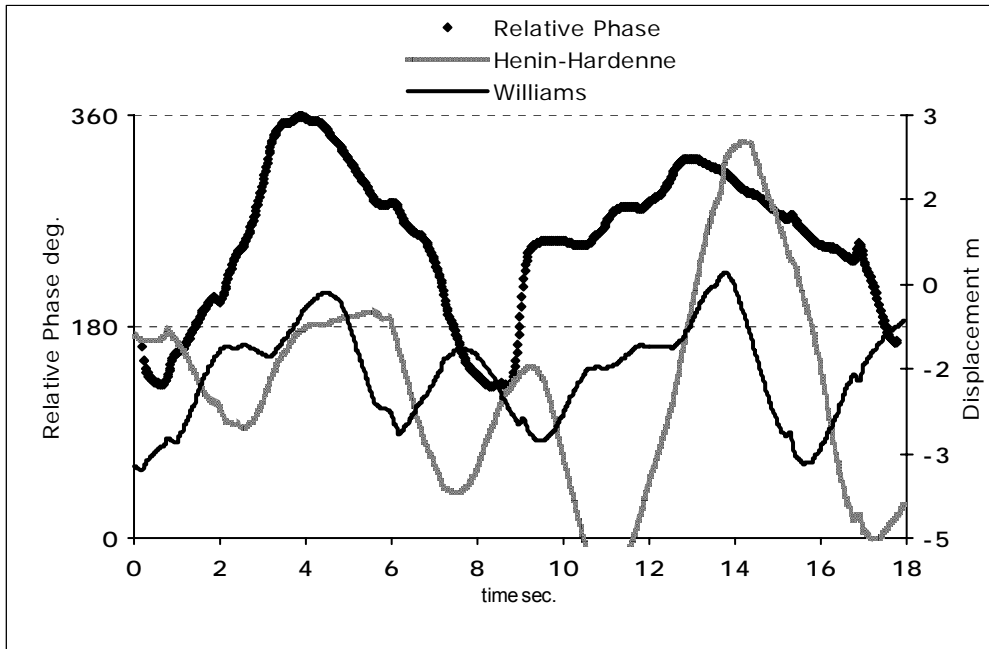


**Abb. 5: Phasenraumdarstellung für den Positionsverlauf und die Schlagorte**

Diese, bereits angesprochene Problematik, dass empirische Zyklen nicht jene ideale Kreisform abbilden, die für eine direkte Berechnung der relativen Phase per Phasenraumdarstellung notwendig wäre, veranlasste uns, die Hilbert Transformation zur RP-Berechnung zu verwenden. Die Bearbeitung der Daten erfolgte mit MatLab (Version 7). Die Daten wurden einem low-pass Filter mit einer cut-off Frequenz von 1 Hz unterzogen, um lokale Minima und Maxima, welche als Noise angesehen werden können, zu eliminieren. Der Verlauf der relativen Phase ist in Abbildung 6 zusammen mit den Positionsdaten dargestellt.

Die beschriebenen vier Phasen des Ballwechsels können gut nachvollzogen werden: Die neutrale Eröffnung startet in Anti-Phase, da Aufschlag und Return die entspre-

chenden Zyklusbewegungen induzieren. Die harmlosen Grundlinienschläge durch die Mitte sorgen für eine gleichsinnige Bewegung, die relative Phase bewegt sich gegen  $360^\circ$  (In-Phase). Die Einleitung des kurzen Cross-Winkelspiels durch Williams mit Schlag 6 bewirkt einen dramatischen Übergang zurück zur Anti-Phase, die für Cross-Rallyes charakteristisch ist. Der Longline-Schlag von Williams führt zu einer Störung, die sich durch eine Annäherung an eine In-Phase-Konstellation ausdrückt. Der abschließende Crossschlag führt dazu, dass der Ballwechsel in Anti-Phase endet.



**Abb. 6: Verlauf von Positionen und relativer Phase**

## 5 Diskussion

Das Ergebnis und insbesondere der exemplarische Verlauf der relativen Phase machen einerseits deutlich, dass man sich noch am Beginn der Bearbeitung dieses neuen Paradigmas befindet. Auf der anderen Seite sind die konzeptionellen Vorzüge der Modellierung so überzeugend, dass sich allein daraus eine Ermutigung für die weitere Verfolgung der Fragestellung ableitet. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass die wesentliche Hypothese, stabile Phasen im Ballwechsel zeichnen sich durch eine stabile relative Phase aus, instabile Phasen durch Störungen im Verlauf der relativen Phase, im Prinzip bestätigt wird.

Kurzfristige Aufgaben zur weiteren Auslotung des Potenzials der relativen Phase zur Beschreibung der Interaktion im Sportspiel stellen sich in den beiden Bereichen

Optimierung der Datenbasis und Durchführung von Experimenten zum verbesserten Verständnis des Verhaltens der relativen Phase.

Die Datenbasis erfasst bisher die Spielerpositionen nur in Richtung der lateralen Abweichung von der Platzmitte. Dies führt zu Artefakten, da der Abstand von der Grundlinie tennispraktisch sehr bedeutsam ist. Schläge weit hinter der Grundlinie verfügen im Allgemeinen über ein viel geringeres Bedrohungspotenzial als solche aus weit vorgerückter Position. In unserem Ballwechsel erzeugte Williams beispielsweise viel Druck durch kurze Crossbälle, die Henin nicht nur zur Seite bewegen, sondern auch noch ins Feld hinein zwingen. Neben den bereits bei der Methode angesprochenen technischen Problemen und der Auswahl eines validen Punktes zur Repräsentation der Spielerposition ist also die Frage der zweiten Positionsdimension zu klären.

Um die praktische Verwendbarkeit der Methode zu steigern, ist vor allem wichtig, die Interpretierbarkeit des Verlaufs der relativen Phase zu sichern. Bevor von diesem Verlauf auf das Geschehen auf dem Platz rückgeschlossen werden kann, ist zunächst eine stabile Relation zwischen dem Verhalten im Tennis und den entsprechenden Reaktionen der relativen Phase zu etablieren. Dabei sollte neben dem in diesem Beitrag eingeschlagenen Weg der Validierung der relativen Phase durch qualitative Analysen von möglichst vielen Ballwechseln aus realen Tennisspielen auch ein experimenteller Ansatz verfolgt werden.

Wenn Tennisspieler nach einem „Drehbuch“ Ballwechsel mit charakteristischen Verhaltensweisen spielen, dann sollte man aus den Verläufen der relativen Phase sowohl Auskunft über typische absolute Werte als auch über die Reaktionen der relativen Phase auf Störungen erhalten. Ein solches Drehbuch könnte beispielsweise den Austausch gleicher Schläge auf beiden Seiten (Cross-Rallies VH und RH), gleicher Schläge auf je einer Seite (Longline-Rallies), definierte Schlagfolgen und auch definierte taktische Aktionen (Netzanriffe, Spiel gegen den Lauf usw.) enthalten. Die Spieler sollten ein möglichst hohes Niveau aufweisen, um diese Übungen spielnah praktizieren zu können.

Abschließend ist festzuhalten, dass dem neuen Paradigma der relativen Phasen nicht nur konzeptionelle Vorzüge zur Beschreibung der Interaktionen in den Einzel-Rückschlagspielen zu attestieren sind, sondern dieser Anspruch auch im Einzelfall an einem Ballwechsel des internationalen Spitzentennis nachvollzogen werden konnte. Es ist beabsichtigt, die zahlreichen noch anstehenden Probleme bis zur Praxiswirksamkeit im Rahmen einer deutsch-französisch-spanischen Arbeitsgruppe anzugehen.

## **Literatur**

- Beek, P. (1989). *Juggling dynamics*. Amsterdam: Free University Press.
- DeGuzman, G.C., & Kelso, J.A.S. (1991). Multifrequency behavioural patterns and the phase attractive circle map. *Biological Cybernetics*, 64, 485-495.
- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.



- Gréhaigne, J.-F., Bouthier, D., & David, B. (1997). Dynamic system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer. *Journal of Sports Sciences, 15*, 137-149.
- Haken, H. (1990). *Synergetik – eine Einführung*. Berlin: Springer.
- Haken, H., Kelso, J.A.S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics, 51*, 347-356.
- Hansen, G. & Lames, M. (2001). Die Qualitative Spielbeobachtung. Eine Beobachtungsvariante zur Trainings- und Wettkampfsteuerung im Spitzensport. *Leistungssport, 31* (1), 63-70.
- Hughes, M., Dawkins, N., David, R., & Mills, J. (1998). The perturbation effect and goal opportunities in soccer. *Journal of Sports Sciences, 16*, 20.
- Hughes, M., Langridge, C., & Dawkins, N. (2001). Perturbation actions not leading to shots on goal in soccer. In M. Hughes (Ed.), *Notational Analysis in Sport IV* (pp. 23-32). Cardiff: UWIC.
- Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic Patterns. The Self-Organization of Brain and Behavior*. Cambridge, Mass.: MIT-Press.
- Kelso, J.A.S., Buchanan, J.J., & Wallace, S.A. (1991). Order parameters for the neural organization of single, multijoint limb movement patterns. *Experimental Brain Research, 85*, 432-444.
- Kugler, P.N., Kelso, J.A.S., & Turvey, M.T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures. In G.E. Stelmach, & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 3-47). Amsterdam: North-Holland.
- Lames, M. (1991). *Leistungsdiagnostik durch Computersimulation: Ein Beitrag zur Theorie der Sportspiele am Beispiel Tennis*. Frankfurt, Thun: Harry Deutsch.
- Lames, M. (1994). *Systematische Spielbeobachtung*. Münster: Phillipka.
- Lames, M. (1998). Leistungsfähigkeit, Leistung und Erfolg – ein Beitrag zur Theorie der Sportspiele. *Sportwissenschaft, 28*, 137-152.
- Lames, M. (1999). Fußball – Ein Chaosspiel? In J.-P. Janssen, A. Wilhelm & M. Wegner (Hrsg.), *Empirische Forschung im Sportspiel – Methodologie, Fakten und Reflexionen* (S. 141-156). Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Lee, D.N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception, 5*, 437-459.
- Letzelter, H. & Letzelter, M. (1982). Die Struktur sportlicher Leistungen als Gegenstand der Leistungsdiagnostik in der Trainingswissenschaft. *Leistungssport, 12*, 351-361.
- McGarry, T., Anderson, D.I., Wallace, S.A., Hughes, M.D., & Franks, I.M. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sport Sciences, 20*, 771-781.
- McGarry, T., Khan, M.A., & Franks, I.M. (1999). On the presence and absence of behavioural traits in sport: an example from championship squash match-play. *Journal of Sport Sciences, 17*, 297-311.
- Michaels, C.F., & Beek, P. (1996). The state of ecological psychology. *Ecological Psychology, 7*, 259-278.
- Neumann, O. (1993). Psychologie der Informationsverarbeitung: Aktuelle Tendenzen und einige Konsequenzen für die Aufmerksamkeitsforschung. In R. Dauter & K. Blischke (Hrsg.), *Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik* (S. 56-78). St. Augustin: Academia.
- Palut, Y., & Zanone, P.-S. (2003). *Tennis as a dynamical self-organizing system*. Research note: Université Paul Sabatier, Toulouse.

- Palut, Y., & Zanone, P.-S. (2005). A dynamical analysis of tennis players' motion: Concepts and data. *Journal of Sports Science*, *23*, 1021-1032.
- Perl, J., Lames, M. & Glitsch, U. (2002). *Modellbildung in der Sportwissenschaft*. Schorndorf: Hofmann.
- Pikovsky, A., Rosenblum, M., & Kurths, J. (2001). *Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences*. Cambridge: University Press.
- Rigauer, B. & Robbert, N. (2000). *Soziodynamische Prozesse in Sportspielen*. Köln: Strauß.
- Schmidt, R.C., Carello, C., & Turvey, M.T. (1990). Phase Transitions and Critical Fluctuations in the Visual Coordination of Rhythmic Movements Between People. *Journal of Experimental Psychology*, *16*, 227-247.
- Summers, J.J. (1998). Has Ecological Psychology Delivered What It Promised? In J.R. Piek (Ed.), *Motor behavior and human skill* (pp. 385-402). Leeds: Human Kinetics.
- Vereijken, B., Whiting, H.T., & Beek, W.J. (1992). A dynamical systems approach to skill acquisition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, *45*, 323-344.
- Zanone, P.-S., & Kelso, J.A.S. (1992). The evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 403-421.