

Analyse der Standstabilität und Bewegungssynchronität bei monopedalen Drehungen in der Rhythmischen Sportgymnastik (Gruppe) – dargestellt am Beispiel der Spagatdrehung (AZ 070801/11)

Anita Hökelmann (Projektleiterin), Peter Blaser & Tina Breitzkreutz

Universität Magdeburg

Problemstellung

Die Wettkampfleistungen im Gruppenklassement der Rhythmischen Sportgymnastik haben ein neues Niveau erreicht. Hohe Schwierigkeiten, vorgetragen in einem rasanten Tempo und in synchroner Ausführung, bestimmen maßgeblich die weltbesten Choreografien. Die Steigerung des Schwierigkeitsgrades wird durch die Verbindung von anspruchsvollen Körper- mit Handgerätekünsten in komplizierten Interaktionen zwischen den Gymnastinnen im Umgang mit den Handgeräten erreicht.

Choreografieanalysen verdeutlichen, dass bei den Körpertechniken vor allem Schwierigkeitssteigerung bei monopedalen Drehungen zu verzeichnen sind. Wurden die Übungen vor einigen Jahren noch von Zweifach- bis Dreifachdrehungen dominiert, so konnten bei den Berlin Masters und bei den Welttitelkämpfen 2011 verstärkt Mehrfachdrehungen über 720° hinaus beobachtet werden. Besonders Mehrfachdrehungen mit Gerätsteuerung stellen höchste Anforderungen an den Erhalt des Gleichgewichts während der synchronen Übungsausführung in Gruppenwettkämpfen.

Monopedale Mehrfachdrehungen werden als Rotationsbewegungen um die Vertikalachse definiert und im Stütz auf dem Fußballen des Drehbeines durchgeführt. In diesem Kontext ist die Standstabilität eine besondere Erscheinungsform des Gleichgewichts. Für den Erhalt der Stabilität sind insbesondere die Sinnessysteme in ihrem komplexen Zusammenwirken mit der Muskulatur von Bedeutung (Abb.1).

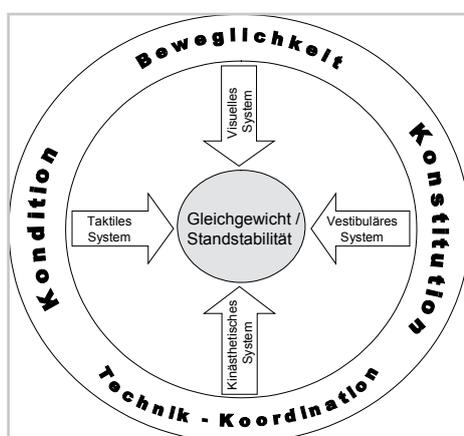


Abb. 1. Modell der Standstabilität

Während der Bewegungsausführung müssen die kinästhetischen Rezeptoren ein ständiges Feedback über Spannungsverhältnisse in den Muskeln, Sehnen und Bändern sowie über Winkelstellungen in den Gelenken zur Verfügung stellen, um die Synchronisation der Bewegungen im Kontext mit der Musik und der Gruppe zu gewährleisten. Veränderungen der räumlichen Parameter (Verhalten von Gruppenmitgliedern und Geräten) müssen visuell erfasst und zentral verarbeitet werden, um eine neue Situation antizipieren zu können. Der taktile Analysator informiert über Druckverteilungen auf den Fußsohlen. Vestibulare Informationen, die primär das Gleichgewicht sichern, spielen bei Drehungen um die unterschiedlichen Körperachsen eine besonders wichtige Rolle. Die Subsummierung derartiger Information in Einheit mit den konditionellen Voraussetzungen der Gymnastin ist eine wesentliche Voraussetzung, um unter Übungs- und Wettkampfbedingungen das Gleichgewicht bei monopedalen Mehrfachdrehungen zu sichern.

Untersuchungen zur Stabilität bei Drehtechnik sind aus der Rhythmischen Sportgymnastik bisher nicht bekannt. Ein Bezug wird in den Studien zum klassischen Tanz und Ballett erkennbar. Ergebnisse, die in Veröffentlichungen wie „The Physics of Dance“ (Laws, 1984), „Physics, Dance, and the Pas-de-Deux“ (Laws et al., 1994) und „Physics and the Art of Dance“ (Laws & Swope, 2002) vorliegen, stellen Drehungen im Tanz aus biomechanischer und methodischer Sicht dar, ohne auf die Stabilität unter biomechanischem Aspekt Bezug zu nehmen. Des Weiteren veröffentlichten Laws u. a. spezielle Untersuchungen zu Pirouette-Drehung (Laws & Fulkersson, 1992/93) und Fouetté-Drehung (Laws, 1986), welche eine Sonderstellung unter den Drehungen um die Längsachse einnehmen. Auch Imura u. a. beschäftigten sich eingehend mit der Fouetté-Drehung im klassischen Ballett (Imura et al., 2008; Imura & Yeadon, 2010). Diese Untersuchungen stellen allerdings die Standstabilität nicht explizit in den Mittelpunkt der Analysen.

Studien von Golomer et al. (2009), Simmons (2005) und Guillou et al. (2007) untersuchten die Standstabilität und ihre Steuerung sowie ihr Training mit Hilfe eines Kippbretts und verglichen Tanzende mit Nicht-Tanzenden. Insgesamt konnten in der recherchierten Literatur keine Belege gefunden werden, in denen ein Bezug zur Rhythmischen Gymnastik gesucht wurde und die Standstabilität unter den sporttechnischen Bedingungen von Drehungen Erwähnung fand.

Zielstellung der Untersuchungen

Die Zielstellung der Untersuchungen bestand darin, mit Hilfe einer biomechanischen Analyse die Stabilität bei Mehrfachdrehungen als Voraussetzung für synchrone Ausführungen in der Gruppe zu überprüfen. Anhand von fünf Gymnastinnen, die in der Gruppengymnastik das internationale Wettkampfniveau mitbestimmen, wurden die Untersuchungen durchgeführt. Die Gymnastinnen hatten die Aufgabe, eine 3½-fache Spagatdrehung auf dem rechten Bein im Einzeltest zu demonstrieren. Um eine möglichst wettkampfnaher Situation zu garantieren, durfte jede Gymnastin nur einmal die Übung nach entsprechender Erwärmung ausführen.

Untersuchungsdesign

Die Bewegungsaufnahmen wurden dreidimensional mit Hilfe des Systems „SIMI-Motion“ der SIMI-GmbH (Unterschleißheim, Deutschland) durchgeführt. Zum Einsatz kamen in diesem Rahmen vier Kameras mit einer Frequenz von 200 Hz. Das System ermöglicht eine Verrechnung der Raum-Zeit-Marker sowie eine anschließende dreidimensionale Darstellung derselben in Form von Kennziffern und Kennlinien. Anhand der Kennziffern und Kennlinien konnten in einem weiteren Schritt drei funktionsbezogene Bewegungsphasen bestimmt werden.

Die Stand- bzw. Drehstabilität wurde mit Hilfe des Geometrischen Maßes ermittelt. Darunter wird der Winkel verstanden, um den ein Körper gekippt werden kann, bis sich sein Schwerpunkt genau lotrecht über der Kippkante befindet (Hochmuth, 1981). Aus dem stabilen Gleichgewicht wird ein indifferentes bzw. labiles Gleichgewicht, das durch Ausgleichbewegungen der freien Extremitäten im Sinne des Erhalts der Standstabilität ausgeglichen werden muss. Der Kippwinkel (α) ist aus dem Verhältnis der senkrechten Höhe des Körperschwerpunktes (KSP) (h) und der waagerechten Entfernung des Schwerpunktes bis zur Kippkante (s) mit Hilfe einer Arcus-Tangens-Funktion bestimmbar (Abb. 2).

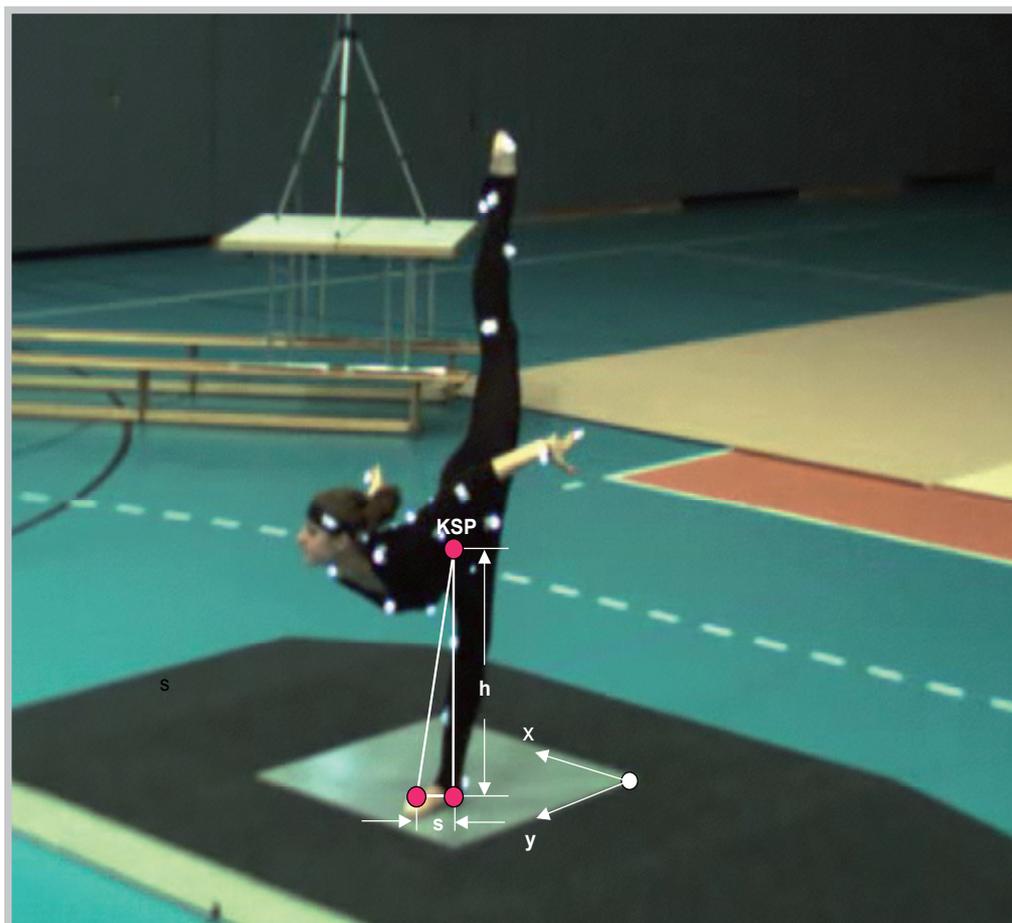


Abb. 2. Kippwinkel als geometrisches Maß der Standstabilität

Aus der Videoaufzeichnung wurde unter Zugrundelegung der Prämissen der Phasendefinitionen die zeitliche Dauer der Spagatdrehung für jede Gymnastin bestimmt. Aus den daraus abgeleiteten Datensätzen konnten anschließend die Kippwinkel in x- und y-Richtung sowie der resultierende Kippwinkel von Frame zu Frame extrahiert werden. Das vorliegende Datenmaterial wurde anschließend mit Hilfe der mathematischen Statistik aufbereitet. Die Datenlage entsprach einer akzeptablen Normalverteilung. Zur Anwendung kamen, neben Maßen der Deskriptiven Statistik, die bivariate und multiple Korrelationsanalyse sowie die Einfaktorielle Varianzanalyse bei Ungleichheit der Varianzen.

Ausgewählte Ergebnisse

In der zeitlichen Gestaltung der Teilphasen treten zwischen den Gymnastinnen Unterschiede auf (Tab. 1). Diese werden in der Gestaltung der Teilphasen und in der Drehabfolge am Trittmuster- und Kippwinkelverlauf erkennbar.

Tab. 1. *Zeitliche und prozentuale Dauer der Teilphasen pro Gymnastin*

Phasenmodell „Spagatdrehung“					
Probandin	VPH	HPH	EPH	Dauer	Relat. Dauer
	Dauer	Dauer	Dauer		
1	0,591 s 11,68 %	3,648 s 72,08 %	0,822 s 16,24 %	5,061 s	100 %
2	0,669 s 11,77 %	3,018 s 53,12 %	1,996 s 35,12 %	5,683 s	100 %
3	0,83 s 18,13 %	2,624 s 57,31 %	1,125 s 24,57 %	4,579 s	100 %
4	1,223 s 19,43 %	3,736 s 59,79 %	1,335 s 21,36 %	6,294 s	100 %
5	0,739 s 13,68 %	2,856 s 52,93 %	1,814 s 33,39 %	5,409 s	100 %

Am Beispiel der Einzelfallbetrachtung des sogenannten Trittmusters der Gymnastinnen wird bereits deutlich, dass sich die Standstabilität in diesen Mustern widerspiegelt (Abb. 3).

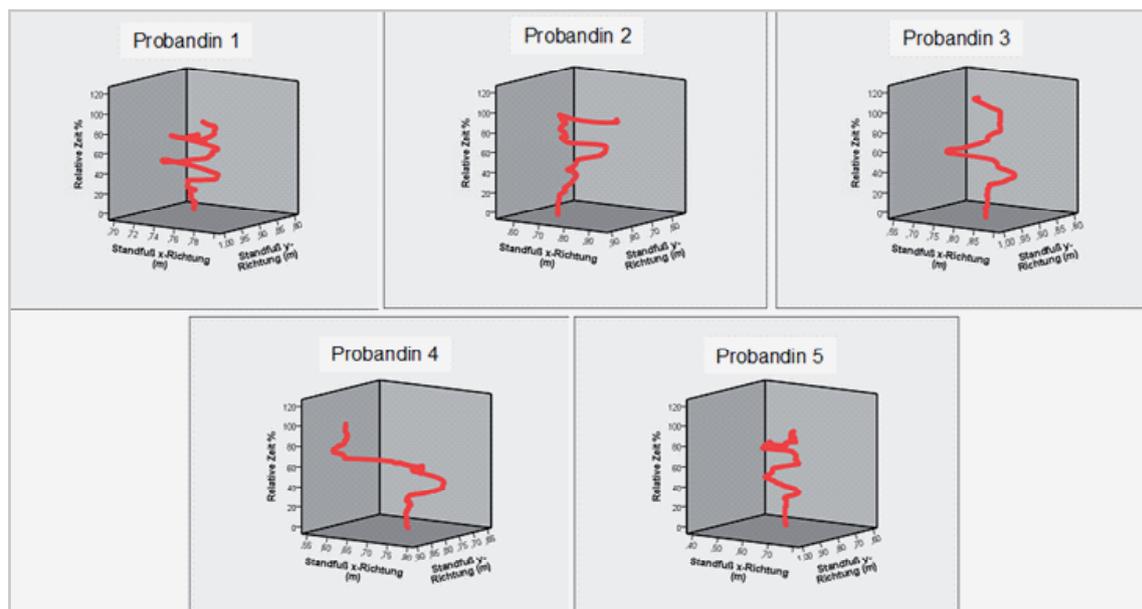


Abb. 3. Trittmuster von fünf Gymnastinnen mit Bezug auf den Vorderfuß des Standbeines (in x- und y-Richtung) sowie der relativen Zeit (in z-Richtung)

Die Muster sind unterschiedlich angeordnet und verteilen sich über der Zeit in x- und y-Richtung mit einer mehr oder weniger hohen individuellen Variabilität. Die Schwächen in der Standstabilität treten sichtbar in Erscheinung. Wünschenswert wäre ein relativ geradliniger Verlauf über der Zeit durch Reduzierung der Variabilität in Bezug auf jede Gymnastin und damit auch in Bezug auf die Gruppe. Für eine höhere Bewertung der Gruppenleistung ist eine Verbesserung der Bewegungssynchronität, die sich auch in der Stand- bzw. Drehsicherheit widerspiegelt, eine wesentliche Voraussetzung.

Unter Berücksichtigung des Resultierenden Kippwinkels kann diese Aussage am Beispiel der Einzelfall- sowie Gruppendarstellung untermauert werden (Abb. 4).

Die Verläufe beginnen aus einer bipedalen Ausgangsstellung mit großem Kippwinkel. Im Übergang zum monopodalen Stand wird der Kippwinkel infolge der Gewichtsverlagerung auf das Standbein stark verkleinert. Der Drehansatz für die erste Drehung in der Hauptphase erfolgt im Sohlenstand. Dieser ermöglicht einen größeren Kippwinkel und damit auch die Sicherung des Gleichgewichts. Das damit im Zusammenhang stehende größere Drehmoment kann kompensiert werden. Die folgenden zwei Drehungen werden im Ballenstand absolviert. Infolgedessen reduziert sich erneut der Kippwinkel, der nunmehr bei fast allen Gymnastinnen bis in die Zone des indifferenten Gleichgewichts hineinreicht. Die Reibungsenergie zwischen Widerlager und Fußsohle (Ballenstand) und die damit im Zusammenhang stehende Verringerung der kinetischen Energie für die Drehung beeinflusst die Standstabilität, so dass die Gymnastinnen gezwungen sind, im Interesse des Gleichgewichtserhalts während der Drehung kurzzeitig in den Sohlenstand abzusenken, um neue Energie zu gewinnen. Das führt wiederum zu einer Erhöhung des Kippwinkels. Im Übergang zwischen Haupt- und Endphase kommt es durch das Absenken des Spielbeines bei

gleichzeitigem Sohlenstand zu einer erneuten Verringerung des Kippwinkels. Durch das anschließende Heranführen des Spielbeines an das Standbein wird der Kippwinkel dann stabilisiert und die Bewegung wird im bipedalen Ballenstand beendet. Wie bei den Trittmustern sind die Verläufe mehr oder weniger inhomogen.

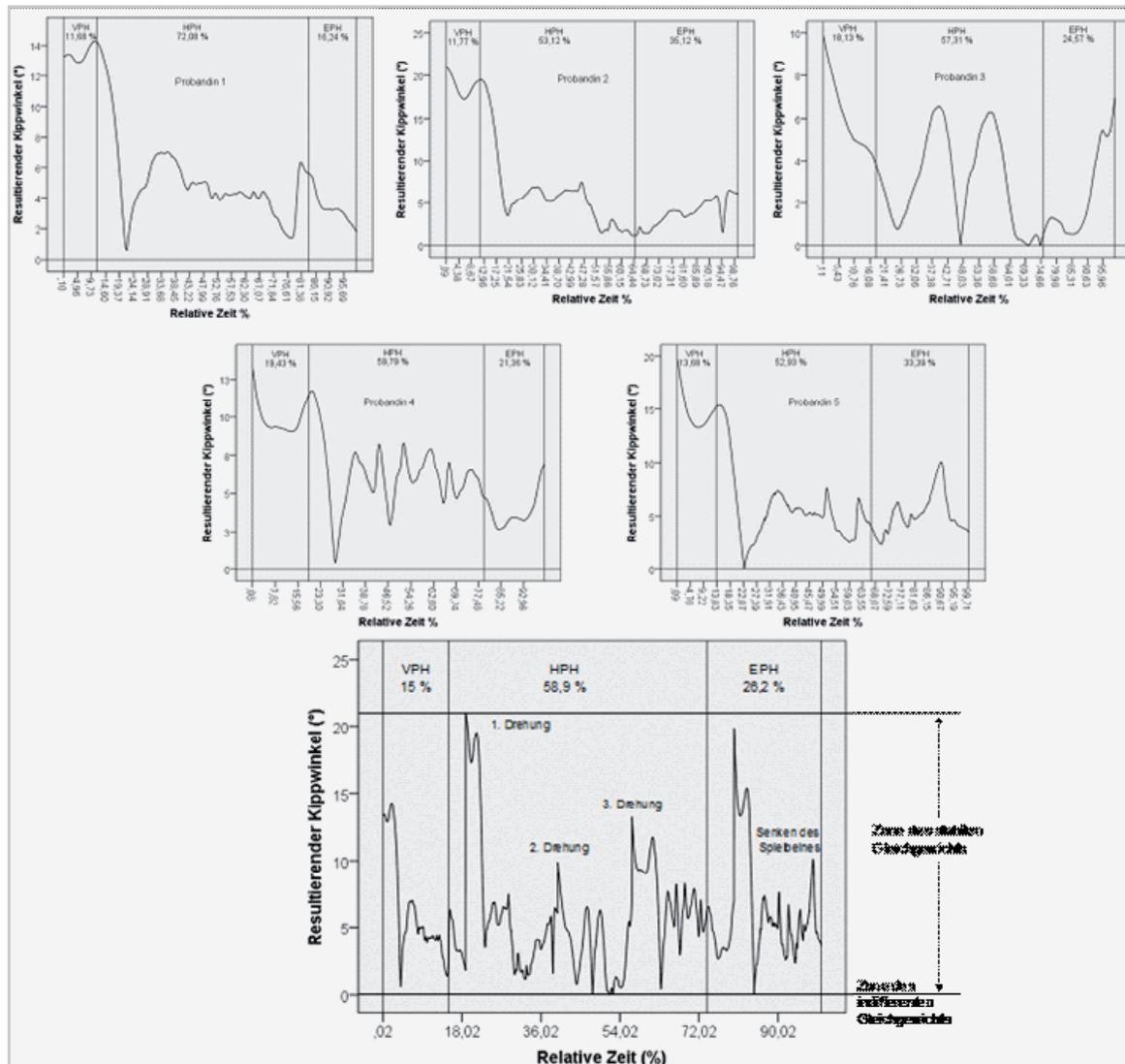


Abb. 4. Kippwinkel von 5 Gymnastinnen in Bezug auf die Relative Zeit

Es ist in diesem Zusammenhang von Interesse, inwieweit durch Ausgleichbewegungen der freien Extremitäten das Gleichgewicht gesichert werden kann. Mit Hilfe der multiplen Korrelationsanalyse wurde der Sachverhalt anhand der Gruppe überprüft (Tab. 2).

Es wird ersichtlich, dass die Modelle der schrittweisen Korrelation eine Signifikanz zwischen dem Kriterium „Resultierender Kippwinkel“ und den Prädiktoren des Raumes in x-, y-, und z-Richtung aufweisen. Im Vergleich der Prädiktoren hat der zurückgelegte Weg des linken Schwungarmes die höchsten Anteile am Gleichgewichtserhalt. Die Bestimmtheitsmaße (R^2) liegen zwischen 29 und 37 Prozent gemeinsamer Varianz. Das ist ein Kennzeichen dafür, dass der linke Schwungarm

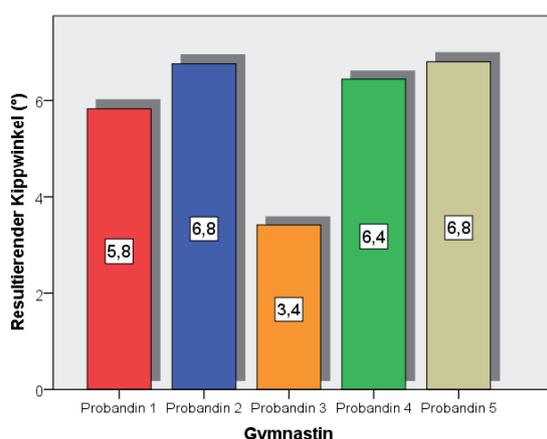
den höchsten Anteil der Ausgleichsbewegungen aufweist und damit im Vergleich den höchsten Beitrag an der Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes leistet.

Tab. 2. *Multipler Zusammenhang zwischen dem Resultierenden Kippwinkel (Bezugspunkt Vorderfuß) sowie den Ausgleichsbewegungen durch das Spielbein (Bezugspunkt Vorderfuß) und die Arme (Bezugspunkte Zeigefinger links und rechts)*

Modellzusammenfassung Resultierender Kippwinkel (Prädiktor: Vorderfuß Spielbein)				Modellzusammenfassung Resultierender Kippwinkel (Prädiktor: Zeigefinger rechts)				Modellzusammenfassung Resultierender Kippwinkel (Prädiktor: Zeigefinger links)			
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat
1	,452 ^a	,204	,204	1	,319 ^a	,102	,102	1	,536 ^a	,288	,287
2	,524 ^b	,275	,274	2	,403 ^b	,163	,162	2	,584 ^b	,341	,341
3	,539 ^c	,291	,291	3	,457 ^c	,209	,208	3	,611 ^c	,373	,373

a. Einflußvariablen : (Konstante), Vorderfuß Spielbein z-Richtung (m)	a. Einflußvariablen : (Konstante), Zeigefinger rechts y-Richtung (m)	a. Einflußvariablen : (Konstante), Zeigefinger links x-Richtung (m)
b. Einflußvariablen : (Konstante), Vorderfuß Spielbein z-Richtung (m), Vorderfuß Spielbein y-Richtung (m)	b. Einflußvariablen : (Konstante), Zeigefinger rechts y-Richtung (m), Zeigefinger rechts x-Richtung (m)	b. Einflußvariablen : (Konstante), Zeigefinger links x-Richtung (m), Zeigefinger links z-Richtung (m)
c. Einflußvariablen : (Konstante), Vorderfuß Spielbein z-Richtung (m), Vorderfuß Spielbein y-Richtung (m), Vorderfuß Spielbein x-Richtung (m)	c. Einflußvariablen : (Konstante), Zeigefinger rechts y-Richtung (m), Zeigefinger rechts x-Richtung (m), Zeigefinger rechts z-Richtung (m)	c. Einflußvariablen : (Konstante), Zeigefinger links x-Richtung (m), Zeigefinger links z-Richtung (m), Zeigefinger links y-Richtung (m)
d. Abhängige Variable: Resultierender Kippwinkel (°)	d. Abhängige Variable: Resultierender Kippwinkel (°)	d. Abhängige Variable: Resultierender Kippwinkel (°)

In Bezug auf die Standsicherheit verdeutlicht die Einzelfallbetrachtung sowohl differenzierte als auch homogene Leistungen (Abb. 5). Diesbezüglich ist zu beachten, dass kleinere Winkel der Beherrschung der Bewegungsaufgabe am nächsten kommen. In diesem Sinne treten insbesondere die Probandinnen 1 und 3 in Erscheinung. Die drei anderen Gymnastinnen liegen in ihrer durchschnittlichen Leistung nahe beieinander.



Abhängige Variable: Resultierender Kippwinkel (Tamhane; ungleiche Varianz)

(I) Gymnastin	(J) Gymnastin	Signifikanz
Probandin 1	Probandin 2	,000
	Probandin 3	,000
	Probandin 4	,000
	Probandin 5	,000
Probandin 2	Probandin 1	,000
	Probandin 3	,000
	Probandin 4	,477
	Probandin 5	1,000
Probandin 3	Probandin 1	,000
	Probandin 2	,000
	Probandin 4	,000
	Probandin 5	,000
Probandin 4	Probandin 1	,000
	Probandin 2	,477
	Probandin 3	,000
	Probandin 5	,089
Probandin 5	Probandin 1	,000
	Probandin 2	1,000
	Probandin 3	,000
	Probandin 4	,089

Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0,05 signifikant.

Abb. 5. Mittelwert des Resultierenden Kippwinkels in Bezug auf jede Gymnastin sowie Signifikanztabelle mit Bezug auf Unterschiede zwischen den Gymnastinnen (Resultierender Kippwinkel)

Die Probandin 3 unterscheidet sich signifikant von den anderen Probandinnen. Dieses ist bei den vier anderen Gruppenmitgliedern nicht in jedem Fall zu konstatieren ist. Die Unterschiede sind zum Teil signifikant (vergleiche Abb. 5).

Der Vergleich der Erscheinungsbilder „Resultierender Kippwinkel“ und „Resultierender Drehimpuls“ verdeutlicht umgekehrte Phänomene (Abb. 6)

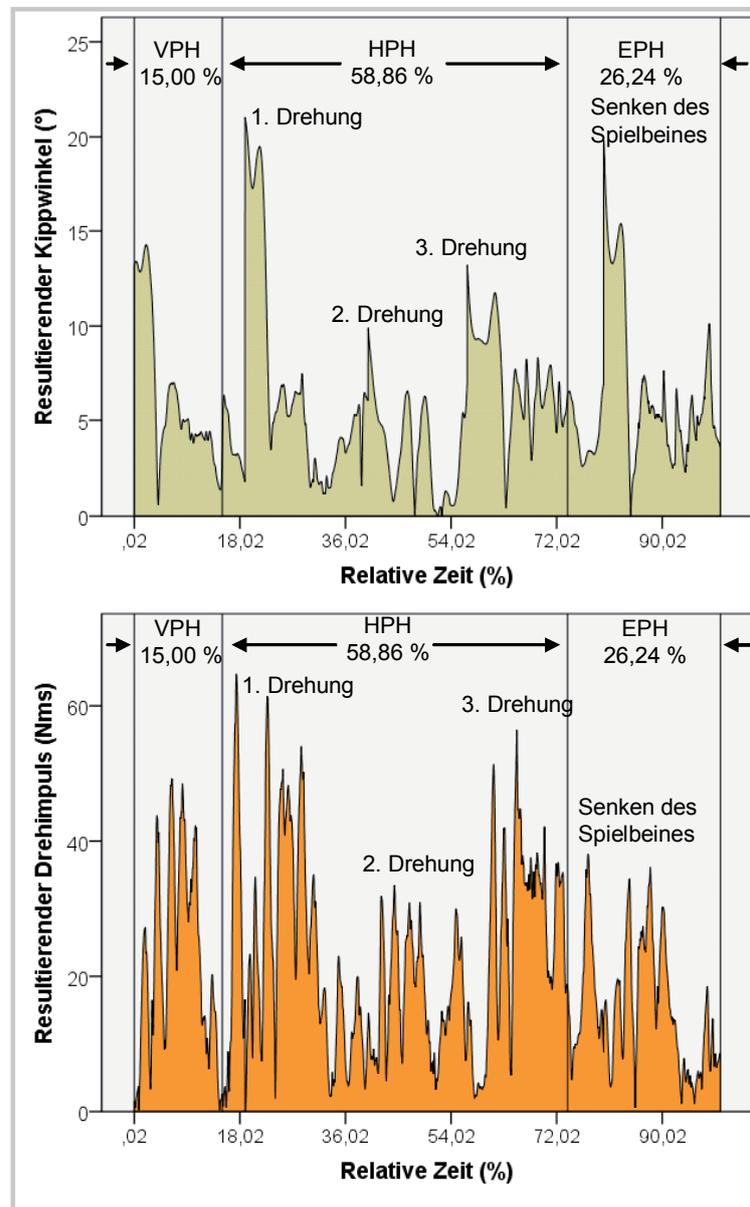


Abb. 6. Phänomenologie des Resultierenden Kippwinkels und des Resultierenden Drehimpulses (N = 5 Gymnastinnen)

Im Bereich der größten Kippwinkel treten die kleinsten Impulsspitzen in Erscheinung. Das ist ein Ausdruck dafür, dass ein höherer Drehimpuls zur Verbesserung der Standsicherheit infolge der Annäherung des KSP an die Kippkante führt. Und umgekehrt ruft eine Reduzierung des Impulses eine Vergrößerung des Kippwinkels hervor. Bei einer intensiveren Schulung der Gymnastinnen wäre ein kleinerer Kipp-

winkel bei unterschiedlichen Impulsen ein Ausdruck der weiteren Reifung des Könnens. Diese Konsequenz kommt auch in einer bivariaten Korrelation zwischen Kippwinkel und Drehimpuls zum Ausdruck. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = -0,243$ bei einer Absicherung auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,01$. Im umgekehrten Schluss bedeutet das, je kleiner der Winkel desto größer der Drehimpuls. Der Effekt der Beziehung ist in diesem Fall jedoch gering.

Einige Schlussfolgerungen

Bewegungsabläufe im Alltag und im Sport können nur dann erfolgreich sein, wenn durch eine zweckmäßige Haltung des Körpers günstige Ausgangspositionen für nachfolgende Bewegungen eingenommen werden. Dabei muss permanent eine Kompensation der Schwerkraft erfolgen, es sind stützende Körperpositionen einzunehmen und dabei ist das Gleichgewicht zu erhalten, bzw. es ist bei Verlust wieder herzustellen. An der Erfüllung derartiger Anforderungen sind komplizierte neuronale und muskuläre Wechselbeziehungen beteiligt, die sich im Begriff „Gleichgewichtsfähigkeit“ subsumieren. An diese werden unter den Bedingungen der Rhythmischen Sportgymnastik höchste Anforderungen gestellt. Insbesondere wird das anhand monopedaler Stände und Drehungen ersichtlich. Die Gymnastin muss zunächst die Fähigkeit des monopedalen Stehens erwerben, ehe sie Drehungen entwickeln kann. Kompliziert wird dieses Anforderungsgefüge noch dadurch, dass in der Gruppengymnastik fünf Gymnastinnen möglichst synchron die Drehungen ausführen sollen.

In der zugrunde gelegten Literaturanalyse konnten keine Belege gefunden werden, in denen die Standstabilität unter den sportartspezifischen Bedingungen von Drehungen in der Rhythmischen Sportgymnastik untersucht wurde. Anhand der fünf Leistungskader kann im Ergebnis der Analyse Folgendes konstatiert werden:

1. Die Gymnastinnen sind in der Lage, die monopedale Spagatdrehung ohne Unterbrechung durchzuführen. In Bezug auf die zeitliche Dauer der 3 ½-fachen Drehungen treten jedoch individuelle Unterschiede auf. Wie aus Tab. 1 ersichtlich wird, weichen die Probandinnen 3 und 4 im Vergleich mit den anderen stärker von dem geforderten homogenen Zeitmaß ab. Noch deutlicher treten die Unterschiede in der jeweiligen Gestaltung der Teilphasen in Erscheinung. Die zeitliche Abstimmung mit Bezug aufeinander bedarf demzufolge einer weiteren Verbesserung.
2. Mit Sicht auf den Resultierenden Kippwinkel wird erkennbar, dass die Schwankungen in der Standstabilität anforderungsgemäß nur bis an die Zone des indifferenten Gleichgewichts heranreichen. An den regulierenden Ausgleichbewegungen sind die frei schwingenden Extremitäten bei Dominanz des linken Schwungarmes signifikant beteiligt. Die Gymnastinnen weisen individuelle Unterschiede in der Standsicherheit auf. Durch die Gestaltung der Trittmuster wird das beredt unterlegt. Wünschenswert wäre ein Schrittmuster, das während der Übung dicht an die Zone des indifferenten Gleichgewichts heranreicht. Das heißt, dass der KSP möglichst nah an die Kippkante herangeführt wird. Dieser Anspruch kann allerdings nur durch einen permanenten Ballenstand erfüllt

werden. Das ist bei allen fünf Gymnastinnen nicht der Fall, die ab der zweiten Drehung kurzzeitig in den Sohlenstand zurückkehren müssen, um das Gleichgewicht zu erhalten. Das ist eine Folge der Diskrepanz zwischen den energetischen Voraussetzungen für die Drehung im Kontext der koordinierten Absicherung der an der Bewegung beteiligten Teilsegmente des Körpers.

3. Die energetischen Voraussetzungen für die Standstabilität zeigen sich explizit in den Ursachen und Wirkungen der Drehimpulserzeugung und Drehimpulserhaltung. Diesbezüglich ist von besonderer Bedeutung die Gestaltung des Übergangs von der Vorbereitungs- zur Hauptphase. Durch die zur Hauptphase entgegengesetzt gerichtete Bewegung erfolgt in der Vorbereitungsphase ein Verdrillen der diagonal ziehenden Muskelschlingen des Rumpfes. Die wichtigen Kraftanteile der Rumpfmuskulatur tragen damit insbesondere zur einer Erhöhung der Anfangskraft bei, die anschließend unter Einbeziehung der schnellkräftigen Streckbewegung des Standbeines in die Hauptphase überführt wird und bei Beachtung der physikalischen Gesetzmäßigkeit des Drehimpulssatzes zum Aufbau eines Drehimpulses führt. Wesentlich ist dabei die zeitliche Koordination der Einzelimpulse aus den schwingenden Extremitäten Arme und Schwungbein sowie der Streckbeschleunigung aus dem Kniegelenk des Standbeines. Wie aus der Untersuchung ersichtlich wird, reicht die Höhe des Drehimpulses nicht aus, im geforderten Ballenstand über drei Drehungen dem technischen Leitmodell zu genügen. Ein kurzes Absenken in den Sohlenstand ist erforderlich, um den Impuls erneut zu verstärken. Diese Kausalkette wirkt sich auch auf die Standstabilität aus und verdeutlicht, dass ein hoher Drehimpuls den Kippwinkel verringert und die Variabilität des Schrittmusters verkleinert. Im Sinne einer anspruchsvollen Durchführung der Übung ist das erstrebenswert. Hier liegen weitere Reserven hinsichtlich der technischen Vervollkommnung der Athletinnen mit Bezug auf den Anspruch auf Synchronität.

Literatur

- Golomer, E., Rosey, F., Dizac, H., Mertz, C. & Fagard, J. (2009). The influence of classical dance training on preferred supporting leg and whole body turning bias. *Laterality*, 14 (2), 165-177.
- Gouillou, E., Dupui, P. & Golomer, E. (2007). Neuromuscular Responses of Trained Ballet Dancers to Postural Perturbations. *International journal of neuroscience*, 115, 1193-1203.
- Hochmuth, G. (1981). *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Berlin. Sportverlag.
- Imura, A., Iino, Y. & Kojima, T. (2008). Biomechanics of the continuity and speed change during one revolution of the Fouetté turn. *Human movement science*, 27, 903-913.
- Imura, A. & Yeadon, M. R. (2010). Mechanics of the Fouetté turn. *Human movement science*, 29, 947 – 955.
- Laws, K. (1984). *The Physics of Dance*. New York: Schermer Books.
- Laws, K. (1986). The Mechanics of Fouette Turn. *Kinesiology of dance*, 28 (4), 22-24.
- Laws, K. & Fulkerson, L. (1992/93). The Slowing of Pirouettes. *Kinesiology and medicine of dance*, 15 (1), 72-80.
- Laws, K., Harvey, C. & Swope, M. (1994). *Physics, Dance, and the Pas-de-Deux*. New York: Schermer Books.
- Laws, K. & Swope, M. (2002). *Physics and the Art of Dance. Understanding Movement*. Oxford: Oxford University Press.
- Simmons, R. W. (2005). Dynamic Balance Sensory motor Control and Symmetrical or Asymmetrical Equilibrium Training. *Clinical neurophysiology*, 118, 317-324.