

THOMAS JAITNER/WOLFGANG J. SCHÖLLHORN

## Verlaufsorientierte Betrachtung der Freiheitsgrade einer hochdynamischen Bewegung

### 1 Einleitung

„Die Koordination der Bewegung ist die Überwindung der überflüssigen Freiheitsgrade des sich bewegendem Organs, mit anderen Worten, seine Umwandlung in ein steuerbares System“ (BERNSTEIN 1987, 182).

Da die Durchführung einer Bewegung in großem Maße von der Anatomie und dem Bau der involvierten Gelenke abhängt, werden ihre physikalischen Freiheitsgrade zur Bewegungsbeschreibung und -analyse herangezogen. Die Tatsache, daß die Gelenke und noch mehr die kinematischen Ketten über eine große Anzahl von Freiheitsgraden verfügen, macht insbesondere die Analyse großmotorischer Bewegungen zu einer sehr komplizierten Angelegenheit.

Eine andere Möglichkeit zur Untersuchung von Bewegungen stellt die Analyse mittels korrelationsstatistischer Freiheitsgrade dar. In Bezug auf den Weitsprung beschränken sich solche Untersuchungen bisher auf die Analyse der Sprungbewegung zu bestimmten Zeitpunkten (BALLREICH 1970; HAYMILLER 1985; LEES u.a. 1994). Zur Analyse der Weitsprungbewegung auf der Basis zeitkontinuierlicher Merkmale wird hier ein Verfahrenskombination aus P-Faktorenanalyse und clusteranalytischem Faktorstrukturvergleich angewandt, daß sich u.a. im Diskuswurf bewährt hat (SCHÖLLHORN 1993). Die P-Faktorenanalyse als Verfahren zur multivariaten Zeitreihenanalyse ermöglicht Aussagen über die genutzten Freiheitsgrade einer sportmotorischen Bewegung. Darüber hinaus strukturiert das Verfahren die Freiheitsgrade komplexer Bewegungen und identifiziert anhand zeitkontinuierlicher Merkmals-Zeit-Verläufe unterschiedliche Bewegungstechniken.

### Problemstellung

Das allgemeine Ziel des durchgeführten Forschungsprojekts ist die *individuenbezogene biomechanische Strukturierung von Bewegungstechniken im Weitsprung*. Im Einzelnen sind dabei folgende Fragestellungen von besonderem Interesse:

1. Bestehen bei komplexer Betrachtung biokinematischer Merkmals-Zeit-Verläufe *intraindividuelle* Strukturunterschiede der Weitsprünge in folgenden Situationen:
  - 1.1 bei verschiedenen Wettkämpfen mit quasi-identischen Leistungen,
  - 1.2 bei verschiedenen Wettkämpfen mit relativ großen Leistungsunterschieden,
  - 1.3 bei einem Wettkampf mit relativ großem Leistungsunterschied?

2. Bestehen bei komplexer Betrachtung biokinematischer Merkmals-Zeit-Verläufe *interindividuelle* Strukturunterschiede der Weitsprünge in folgenden Situationen:
  - 2.1 unterschiedliche Weitsprünge mit quasi-identischer maximaler Leistung während eines Wettkampfs,
  - 2.2 unterschiedliche Wettkämpfe mit quasi-identischer submaximaler Leistung während eines Wettkampfs?

### 3 Methodik

#### 3.1 Datenerfassung

Mittels zweidimensionaler Hochfrequenzfilmbildmessung wurden 15 Weitsprungversuche von 10 Teilnehmern des Internationalen Mehrkampfmeetings in Götzis 1985 und 1986 mit Sprungweiten zwischen 6.88 m und 7.76 m aufgenommen. Die Aufnahmefrequenz lag dabei zwischen 100 und 110 Bildern pro Sekunde. Zur rechnergestützten Weiterverarbeitung erfolgte anschließend die Digitalisierung der erstellten Filmbilder durch manuelle Abtastung von 20 Gelenk- und Körperoberflächenpunkten. Das hier durchgeführte Verfahren der primären Datenverarbeitung zweidimensionaler Bewegungsanalysen wird am IfS Frankfurt durchgeführt und hat sich in der praktizierten Form bewährt (BRÜGGEMANN 1983)

Tab. 1: Sprungleistungsspektrum der Personenstichprobe

1985 Weite (Symbol)	1986 Weite (Symbol)	1986 Weite (Symbol)
7.47 m (S6)		
7.09 m (S8)		
7.75 m (S10)		
7.65 m (S11)		
7.20 m (S5)	7.12 m (S3)	7.52 m (S4)
6.90 m (S1)	6.93 m (S13)	7.29 m (S15)
	7.36 m (S7)	7.76 m (S14)
	7.45 m (S12)	
	6.88 m (S2)	
	6.90 m (S9)	

#### 3.2 Merkmalsstichprobe

Die komplexe Bewegungsanalyse im Weitsprung erfolgt anhand zweier azyklischer Bewegungsabschnitte:

1. letzter Schritt mit Absprung: Dieser Abschnitt beginnt beim Links(Rechts)-springer mit dem Lösen des rechten (linken) Beins nach dem letzten Bodenkontakt vor dem Absprung und endet mit dem Lösen des linken (rechten) Sprungfußes vom Absprungbalken.
2. Flugphase: Die Flugbewegung beginnt mit dem Lösen des Sprungfußes und endet mit dem ersten Sandkontakt.

Die Auswahl der Untersuchungsmerkmale erfolgte anhand der Maßgabe, daß die Weitsprungbewegung innerhalb der beiden Untersuchungsabschnitte möglichst vollständig beschrieben wird. Hierzu eignen sich bevorzugt elementare Merkmale bzw. Merkmale niedrigen Komplexitätsgrades wie segmentbezogene Lagewinkel, gelenkbezogene Winkel und Winkelgeschwindigkeiten sowie KSP-bezogene Weg- und Geschwindigkeitsmerkmale<sup>1</sup>.

## 4 Statistische Datenanalyse

Ausgangspunkt der prozeßorientierten Strukturierung komplexer Bewegungsmuster ist die P-Faktorenanalyse ausgewählter Merkmals-Zeit-Verläufe. Dabei wird eine einzige Person in verschiedenen Zeitabständen (hier: Millisekunden) in denselben Variablen getestet. Diese werden über die Zeitpunkte interkorreliert und faktorisiert. Die Ergebnisse der P-Faktorenanalyse aller Versuchspersonen in Form von Faktorladungsmatrizen werden anschließend mit Hilfe des Faktorstrukturvergleichs (FAST) nach GEBHARDT (1969) verglichen. Zur Klassifizierung der Ähnlichkeitskoeffizientenmatrix aus dem Faktorstrukturvergleich wird abschließend eine hierarchische Clusteranalyse nach der 'Average-linkage'-Methode durchgeführt. Das Ergebnis der Clusteranalyse wird im Dendrogramm dargestellt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Ergebnisse des letzten Anlaufschritts mit Absprung

1. Bei Berücksichtigung aller Merkmale sowie unter Ausschluß der KSP-bezogenen Merkmale werden bei sämtlichen Versuchen drei korrelationsstatistische Freiheitsgrade (Faktoren) ermittelt. Betrachtet man ausschließlich Winkel- bzw. Winkelgeschwindigkeitsmerkmale reduziert sich die Zahl der Faktoren auf zwei. Die extrahierten Faktoren werden bei allen Versuchen durch die gleichen Verlaufstypen (linear, parabelförmig, kubisch) repräsentiert.
2. Die Bewegungsmuster der Athleten zeigen während des letzten Schritts mit Absprung inter- und intraindividuell auch bei relativ großen Leistungsunterschieden eine hohe Strukturaffinität.
3. Unterscheiden sich die Bewegungsmuster von zwei Sprüngen lediglich in einem Merkmals-Zeit-Verlauf, so kann dieser anhand der Clusteranalyse zunächst eingrenzt und danach mit Hilfe der Faktorstruktur eindeutig identifiziert werden.
4. Anhand des Dendrogramms des letzten Anlaufschritts mit Absprung unterscheidet die Clusteranalyse die Weitspringer aufgrund der Seitigkeit des Sprungbeins.

---

1 nur letzter Anlaufschritt mit Absprung

5. Anhand des intraindividuellen Vergleichs läßt sich bei keiner der ausgewählten Situationen eine Leistungsabhängigkeit der Bewegungsmuster feststellen. So weist beispielsweise S5 geringere Ähnlichkeit zu den Vergleichsversuchen S3 und S4 auf, als diese Versuche untereinander. Bei den Versuchen S1, S13 und S15 sowie S7 und S14 läßt sich dieser Trend jedoch nicht bestätigen.
6. Der interindividuelle Vergleich ergibt ebenfalls weder bei quasi-identischen submaximalen noch bei quasi-identischen maximalen Leistungen eine Leistungsabhängigkeit der Bewegungsmuster.
7. Im Mittel zeigen die Versuche des intraindividuellen Vergleichs auch bei hohen Leistungsunterschieden in der Sprungweite mehr Ähnlichkeit auf als beim interindividuellen Vergleich. Intraindividuell scheinen in diesem Abschnitt Bewegungsmuster vorzuliegen, die in Streßsituationen und über längere Zeiträume stabil sind. Es ist davon auszugehen, daß deren Änderung während des Trainingsprozesses zu Schwierigkeiten führt.

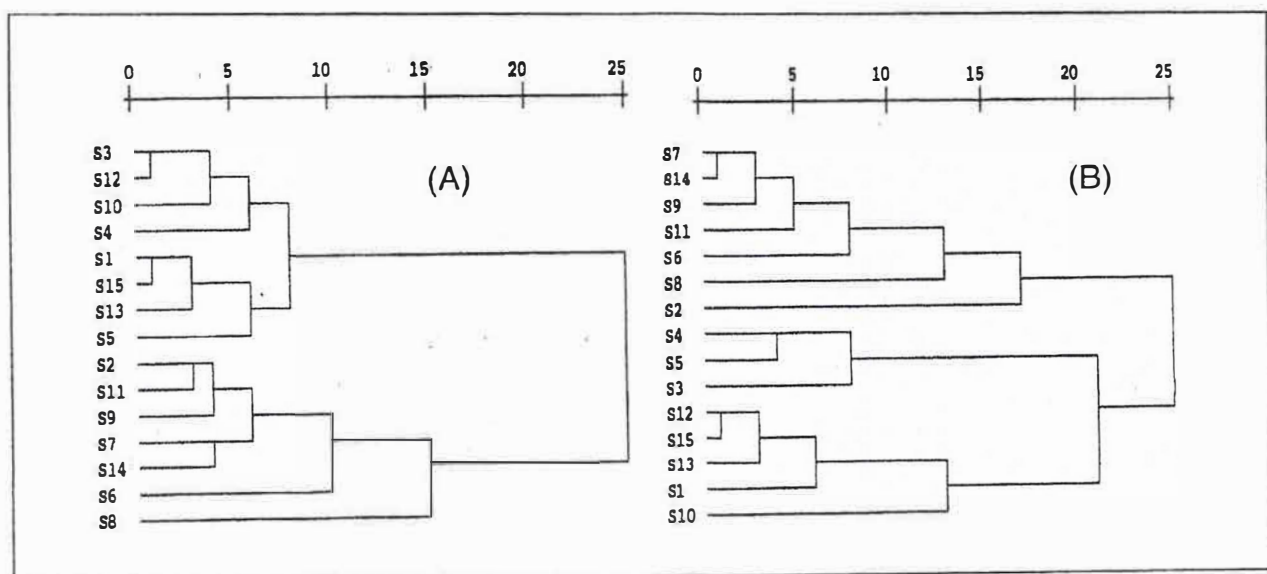


Abb. 1: Ergebnisse der Clusteranalyse: (A) Letzter Schritt mit Anlauf, (B) Flugphase

## 5.2 Ergebnisse der Flugphase

1. In Abhängigkeit vom Merkmalsumfang wurden ebenfalls drei bzw. zwei Faktoren (Freiheitsgrade) mit Hilfe der P-Technik extrahiert, jedoch konnten interindividuell den Faktoren keine einheitlichen Verlaufstypen zugeordnet werden.
2. Die Weitsprungleistungen sind unabhängig von der Flugtechnik. Die Einteilung der Cluster folgt unter Berücksichtigung von Winkel und Winkelgeschwindigkeit bei der geringsten Differenzierung dem Kriterium der Sprungbeinseitigkeit und bei der nächst höheren dem Kriterium der Flug(Weitsprung)technik. Weitsprünge mit der Flugtechnik 'Schrittsprung' bilden eigene Cluster, während den 'Hangspringern' sukzessive 'Laufspringer' mit abnehmender Überstreckungsdauer im Hüftbereich angegliedert werden.

3. Die Flugphasen des intraindividuellen Vergleichs (u.a. S7-S14; S4-S5) zeigen eine höhere Strukturaffinität als die des interindividuellen Vergleichs (u.a. S7-S9).
4. Bei Sprüngen mit submaximaler und maximaler Weite sind wie beim letzten Anlaufschritt mit Absprung interindividuell ähnliche Bewegungsmuster zu beobachten.

## 6 Ausblick

Die komplexe Analyse der Weitsprungbewegung in der hier dargestellten Form führt zu Aussagen über den Verlauf der Bewegung, die mittels zeitdiskreter Untersuchungsmethoden nicht zugänglich sind.

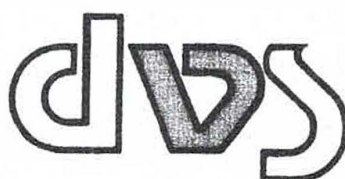
Die Strukturierung der Sprungbewegung unter Verwendung der genutzten Freiheitsgrade führt zur Identifikation unterschiedlicher Bewegungstechniken. Bei entsprechender Auswahl der Merkmalsstichprobe lassen sich weiterhin Rückschlüsse auf die internen Mechanismen der Bewegungsteuerung ziehen, die sich folgenreich auf Methodik und Bewegungsanweisung im Training auswirken.

Anhand der Faktorladungsmatrix lassen sich Unterschiede in der komplexen Bewegungsstruktur auf einzelne Merkmals-Zeit-Verläufe reduzieren und schaffen dadurch die Verbindung zu den Ergebnissen von Zustandsanalysen. So lassen sich bei gleichzeitigen Unterschieden von zeitdiskretem Merkmal und Merkmals-Zeit-Verlauf in einer kombinierten Analyse kausale Beziehungen ableiten, die beispielsweise zu Aussagen folgender Art führen können: „Die Unterschiede im Bremskraftstoß sind durch Unterschiede im Fußaufsatz (Sprunggelenkverlauf) bedingt.“ Die Kombination zeitdiskreter mit prozeßorientierten Analyseverfahren bietet bei Verwendung kinematischer, dynamischer sowie elektromyografischer Parameter ein weites Feld für neue Forschungsvorhaben.

## Literatur

- BALLREICH, R.: Weitsprunganalyse. Berlin 1970  
 BERNSTEIN, N.A.: Bewegungsphysiologie. Leipzig 1987  
 BRÜGGEMANN, P.: Biomechanische Analyse symmetrischer Absprungbewegungen im Gerätturnen. Berlin 1983  
 GEBHARDT, F.: Über die Ähnlichkeit von Faktormatrizen. In: Psychometrika (1947), 12, 267-288  
 HAY, J./MILLER, J.: Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump. In: Int. Journ. of Sport Biomech. 1 (1985), 2, 174-184  
 LEES, A./GRAHAM-SMITH, P./FOWLER, N.: A biomechanical analysis of the last stride, touchdown and takeoff characteristics of men's long jump. In: J. Appl. Biomech. 10 (1994), 1, 61-78  
 SCHÖLLHORN, W.: Biomechanische Einzelfallanalyse im Diskuswurf. Frankfurt/Main 1993

Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft  
Band 87



Flirtz/Nüske (Hrsg.)

# Bewegungskoordination und sportliche Leistung integriert betrachtet

2. Bernstein-Konferenz und 2. gemeinsames Symposium  
der dvs-Sektionen Biomechanik, **Sportmotorik und**  
Trainingswissenschaft vom 25.-27.9.1996 in Zinnowitz

The logo for Czwalina is located at the bottom of the page, centered within a black rectangular box. The word 'Czwalina' is written in a white, stylized, cursive script font.

Czwalina