

BIOMECHANISCHE ANALYSE VON SPEZIALISTEN UND ZEHNKÄMPFERN IN DEN DISZIPLINEN KUGELSTOSS UND DISKUSWURF¹⁾

1 PROBLEMHINFÜHRUNG

Es besteht kein Zweifel, daß sportliche Höchstleistungen in der Leichtathletik, und hier speziell in den Wurfdisziplinen, unlängst noch ohne Anwendung biomechanischer Erkenntnisse zustande gekommen sind. Je höher jedoch das Leistungsniveau in einer Disziplin entwickelt ist, desto weniger Möglichkeiten besitzt ein Athlet, technomotorische Mängel durch konditionelle Stärken zu auszugleichen oder umgekehrt. Mit Abnahme der Kompensationsmöglichkeiten ist sowohl eine Optimierung des konditionellen als auch technomotorischen Leistungszustandes erforderlich. Aufgrund wahrnehmungsphysiologischer Grenzen von seiten des Trainers/Athleten werden hierzu immer häufiger objektive Analyseverfahren angewandt. Vor allem in den leichtathletischen Wurfdisziplinen, bei Bewegungsgeschwindigkeiten bis zu 30m/s, sind objektive Aussagen über bestimmte Merkmalsausprägungen aufgrund visueller Eindrücke erschwert. Die notwendige Objektivierung des Trainingsprozesses kann nur über die Anwendung objektiver Methoden der Bewegungsanalyse und der Bewegungsbeurteilung erfolgen.

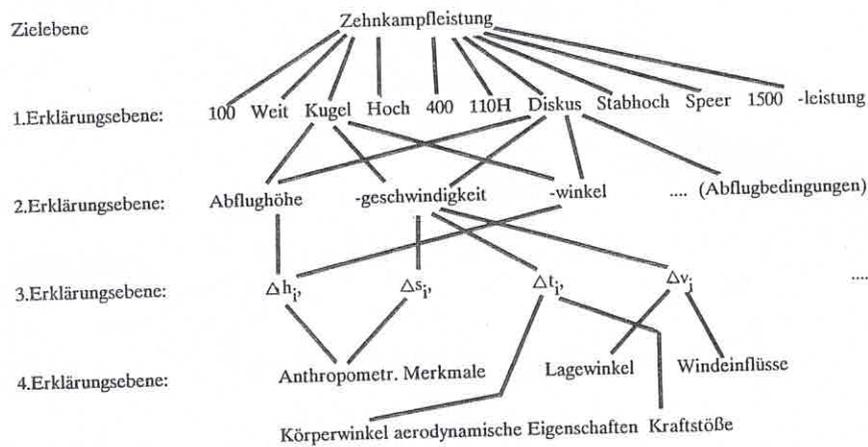


Abb. 1: Deduktionskette zum Zehnkampf; Δh_i : Höhenmerkmale, Δs_i : Wegmerkmale, Δt_i : Zeitmerkmale, Δv_j : Geschwindigkeitsmerkmale

1) Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit (1.Referent: Prof.Dr.M.LETZELTER) angefertigt. (vgl.SCHÖLLHORN 1985).

Schöllhorn, W.I. (1991) Biomechanische Analyse von Spezialisten und Zehnkämpfern in den Disziplinen Kugelstoss und Diskuswurf. In Letzelter, M. Steinmann, W. Trainingswissenschaftliche Studien zur Leichtathletik: Zum 80 Geburtstag von Prof. Dr. B. Wischmann. Schors. 144-166.

Unter der Annahme, daß leistungsbestimmende Merkmale bei Spitzenathleten in extremer Ausprägung vorliegen, orientiert man sich in der Bewegungsbeurteilung bisher primär an hochleistungsspezifischen Merkmalsausprägungen.

Die vorliegende Untersuchung vergleicht Zehnkämpfer (Zk) mit Spezialisten (Sp) in den Disziplinen Kugelstoß und Diskuswurf. Untersucht werden Merkmale der ersten drei Erklärungsebenen einer möglichen Deduktionskette zum Zehnkampf (Abb.1). Die vierte Erklärungsebene, der auch dynamische Merkmale angehören, bleibt unaufgeschlüsselt.

Ausgehend von der zweiten Erklärungsebene, den Abflugbedingungen, wird untersucht, welche Merkmale am stärksten zu den Unterschieden zwischen den beiden Leistungsgruppen beiträgt. Gegenstand der dritten Erklärungsebene sind Merkmale, die während des Angleitens bzw. Andrehens zu den Abflugbedingungen führen. So wird der Weg-, Zeit- und der daraus resultierende Geschwindigkeitsverlauf des Gerätes dargestellt. Ferner werden Merkmale identifiziert, die eine gewisse Vorhersage erlauben bezüglich der Leistungsgruppe, der ein Athlet angehört.

2 UNTERSUCHUNGSMETHODIK

2.1 Meßmethodik

Der Diskuswurf wurde mit zwei Hochfrequenzkameras (LOCAM) aufgenommen. Eine Kamera (K1) stand im rechten Winkel zur Wurfriechtung auf der Wurfarmseite. Der Abstand zum Wurfkreismittelpunkt betrug 40m. Die zweite Kamera (K2) filmte von hinten mit Blick in Wurfriechtung. Hier betrug der Abstand ebenfalls 40m. Die Kameras waren so ausgerichtet, daß sich die optischen Achsen in 1,50m Höhe über dem Wurfkreismittelpunkt kreuzten.

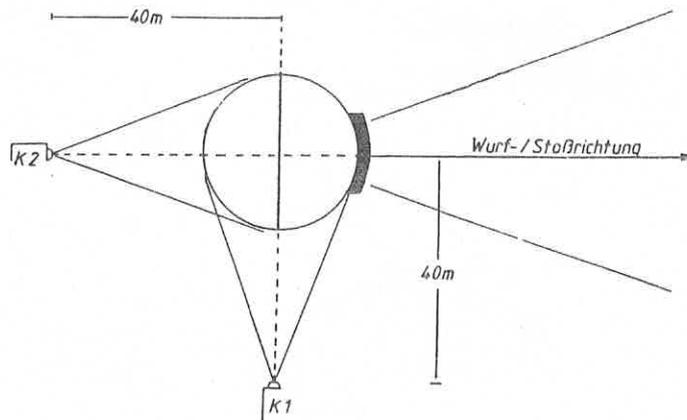


Abb. 2: Schematische Ansicht der Kameraaufstellung

Der Kugelstoß wurde, da von allen Stoßern die O'Brien-Technik angewandt wurde und somit der Kugelweg als annähernd planar angenommen werden kann, nur mit einer Kamera (K1) aufgenommen. Während der Diskuswurf mit einer Filmfrequenz von ca. 200 Bildern pro Sekunde gefilmt wurde, betrug die Aufnahme Frequenz beim Kugelstoß ca. 100 Bilder/sec.

Die Berechnung des Abbildungsmaßstabes erfolgte in beiden Fällen anhand mitgefilmter Meßplatten vor bzw. nach dem Wettkampf. Die positive y-Achse des Bezugskoordinatensystems zeigt von hinten in Wurfriechtung gesehen nach rechts, die positive z-Achse nach oben und die positive x-Achse in Sollwurfriechtung. Die Sportler des gemessenen Leistungsbereichs dürften daran gewöhnt sein, während ihres Wettkampfes gefilmt zu werden. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß das verwendete Instrumentarium, im Hinblick auf psychische Faktoren, weitestgehend rückwirkungsfrei ist.

2.2 Primäre Datenverarbeitung

Unter dem Begriff 'Primäre Datenverarbeitung' werden sämtliche Verfahren zusammengefaßt, die vom Ende der Meßwerterhebung bis zu Beginn der statistischen Verarbeitung der Daten notwendig waren. Entsprechend sind unter dem Begriff der 'Sekundären Datenverarbeitung' alle angewandten statistischen Methoden zusammengefaßt.

2.2.1 Auswertemethodik

Die Filmauswertung erfolgte mit Hilfe einer Digitalisiereinheit (Typenbezeichnung MOP), die über einen exakten Bildstand, Einzelbildschaltung und Bildzähleinrichtung verfügt. Als Meßpunkte wurden der Diskus- bzw. Kugelmittelpunkt von jedem Bild abgetastet, anhand der Bildkoordinaten die entsprechenden Bewegungsmerkmale (Weg-, Zeit-, Geschwindigkeitsmerkmale...) mittels EDV-Anlage (PDP) gewonnen.

2.2.2 Fehlerbetrachtung

Zum zeitlichen Auflösungsvermögen

Nach Angabe des Kameraherstellers unterliegt die Bildfrequenz der vernachlässigbar kleinen Schwankung von 1%. Bei einer Aufnahme Frequenz von 100 Bildern/sec (Kugel) können Zeitangaben mit einer Genauigkeit von 10ms gemacht werden, bei 200 Bildern/sec (Diskus) beträgt der Meßfehler 5ms.

Zum räumlichen Auflösungsvermögen

Das räumliche Auflösungsvermögen wird bestimmt durch die optischen Eigenschaften der Aufnahme- und Projektionsoptik, des verwendeten Filmmaterials und dem Abbildungsmaßstab. Die limitierende Fehlergröße stellt in dieser Abbildungskette das Auflösungsvermögen des Filmmaterials dar. Im Bildfeld des verwendeten Filmmaterials stehen auf einem Ausschnitt von 7,5x10,3mm 600 x 824 Linien zur Verfügung. Dies entspricht einem trennbaren Linienabstand von $1/80 = 0.0125\text{mm}$. Bei einem Abbildungs-

maßstab von 1:400 beträgt somit der kleinste auflösbare Abstand zweier Punkte im Objektraum $0,0125\text{mm} \times 400 = 5\text{mm}$. Im Vergleich zu diesem sind die Fehler der Abbildungskette (Aufnahme-, Projektionsoptik ...) vernachlässigbar (SOLF 1982).

Eine Angabe des räumlichen Fehlers nach Glättung der Daten ist nur zu schätzen und führte in vorliegendem Fall zu folgender Abschätzung: war der Meßpunkt der Kamera zugewandt: $\pm 1\text{ cm}$, war der Meßpunkt nicht der Kamera zugewandt: $\pm 3\text{ cm}$.

Abgeleitete Merkmale

Auch die Auswirkungen des räumlichen Fehlers auf die Geschwindigkeitsmerkmale konnte nur geschätzt werden. Die Fehleranalyse abgeleiteter Merkmale wurde mit dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnet. Für die Kugel- bzw. Diskusgeschwindigkeiten ergaben sich folgende mittlere Meßfehler:

Kugel: $\pm 0.25\text{ m/s}$

Diskus: $\pm 0.5\text{ m/s}$

2.3 Sekundäre Datenverarbeitung

Die statistische Auswertung der vom Institut für Sportwissenschaften Frankfurt zur Verfügung gestellten Daten erfolgte am Rechenzentrum der Johannes Gutenberg Universität Mainz.

Mit Hilfe des KOLMOGOROFF-SMIRNOFF-Tests und des Tests nach DAVID wurden die Daten auf die Güte der Anpassung an die Normalverteilung geprüft. Der F-Test nach FISHER bildete das Kriterium zur Prüfung auf Homogenität der Varianzen. Bei Homogenität der Varianzen wurden die Gruppenmittelwerte mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Stichproben verglichen. Waren die Varianzen inhomogen, so wurde auf den t-Test nach WELCH zurückgegriffen.

Nachdem Merkmale gefunden waren, in denen sich die Gruppen unterschieden, wurde mit Hilfe der Diskriminanzanalyse eine Kombination unabhängiger Variablen ausgewählt, die eine bestmögliche Trennung der Gruppen ermöglicht. Die Auswahl der einzubeziehenden unabhängigen Variablen erfolgte anhand einer Produkt-Moment-Korrelationsmatrix.

3 UNTERSUCHUNG KUGELSTOSS

3.1 Personen- und Merkmalsstichprobe Kugelstoß

3.1.1 Personenstichprobe Kugelstoß

Es wurden 9 Zehnkämpfer des DLV A- und B-Kaders 1982, sowie 12 Kugelstoßer nationaler westdeutscher und italienischer Spitze 1982/83 ausgewertet. Sämtliche Ku-

gelstöße wurden in Einzelwettkämpfen aufgenommen. Alle untersuchten Stoßer sind Rechtshänder. Die Stoßweiten der Spezialisten variieren zwischen 16.00m und 20.59m, die Weiten der Zehnkämpfer zwischen 11.63m und 15.86m.

3.1.2 Merkmalsstichprobe Kugelstoß

Die Gewinnung der Merkmale bleibt auf ausgewählte Phasen der Kugelstoßbewegung beschränkt. Die Stützphasen sind nach Bodenkontakten untergliedert. Es wird unterschieden in

- 1) erste einstützige Phase
- 2) erste stützlose Phase (Angleitphase)
- 3) zweite einstützige Phase (einstützige Übergangsphase)
- 4) zweistützige Phase (zweistützige Abstoßphase)
- 5) dritte einstützige Phase (einstützige Abstoßphase)
- 6) zweite stützlose Phase (stützlose Abstoßphase)

Beschreibung der Bewegungsphasen

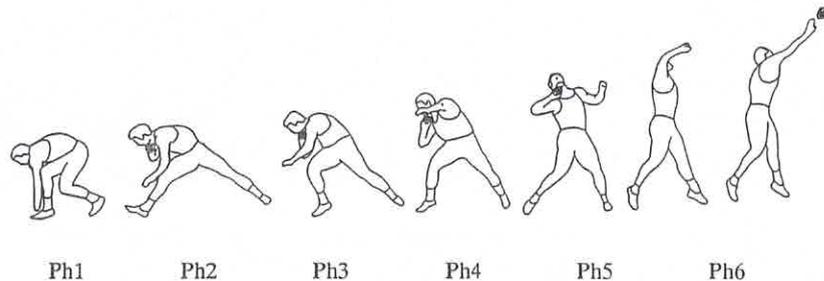


Abb. 3: Phaseneinteilung der Kugelstoßbewegung

1) erste einstützige Phase (Ph1)

Diese Phase beginnt, wenn die Kugel in der Startstellung den tiefsten Punkt erreicht hat, und endet, wenn das Angleitbein den Boden am hinteren Kreisrand verläßt.

2) erste stützlose Phase (Ph2)

Diese oft auch als Gleit- oder Angleitphase bezeichnete Bewegungsphase beginnt, wenn das Angleitbein den Boden am hinteren Kreisrand verläßt, und endet, wenn es etwa in Kreismitte aufsetzt.

3) zweite einstützige Phase (Ph3)

Sie beginnt mit dem ersten Bodenkontakt des Angleitfußes etwa in Kreismitte und endet, wenn der Schwungbeinfuß den ersten Bodenkontakt am vorderen Kreisrand hergestellt hat.

4) zweistützige Phase (Ph4)

Diese Phase beginnt mit dem Aufsetzen des Schwungbeinfußes am vorderen Kreisrand und endet, wenn der Angleitfuß den Boden verläßt.

5) dritte einstützige Phase (Ph5)

Sie beginnt mit dem Lösen des Angleitfußes und endet mit dem Lösen des Schwingbeinfußes. Verläßt die Kugel in dieser Phase bereits die Hand, endet diese Phase mit dem letzten Kugelkontakt.

6) zweite stützlose Phase (Ph6)

Sie beginnt, wenn beide Füße den Boden verlassen haben, und endet mit dem letzten Kugelkontakt.

Die zur Auswertung herangezogenen Merkmale können in folgende Gruppen zusammengefaßt werden:

a) Längenmerkmale:

- Beschleunigungsweg der Kugel in den einzelnen
- Bewegungsphasen $\Delta s_1 - \Delta s_6$ und Gesamtbeschleunigungsweg S
- Kürzeste Verbindung der Raumpunkte 'tiefster Punkt der Kugel' und 'Punkt an dem die Kugel die Hand verläßt' Lb, sowie Differenz und Quotient der kürzesten Verbindung mit dem Gesamtbeschleunigungsweg der Kugel als Maß für die Geradlinigkeit des Kugelbeschleunigungsweges
- Höhenänderung der Kugel während der Bewegungsphasen $\Delta h_1 - \Delta h_6$
- Abflughöhe h_6

b) Zeitmerkmale:

- Dauer der einzelnen Bewegungsphase $\Delta t_1 - \Delta t_6$
- Gesamtstoßdauer T

c) Geschwindigkeitsmerkmale:

- mittlere Geschwindigkeitsänderungen $\Delta v_1 - \Delta v_6$ der Kugel während der Bewegungsphasen
- Abfluggeschwindigkeit v_0 der Kugel

d) Lagemerkmale:

- Abflugwinkel α_0 der Kugel

3.2 Untersuchungsergebnisse Kugelstoß

3.2.1 Ergebnisse der Wegmerkmale (K)

Tab. 1: Ergebnisse der Wegmerkmale (K)

	W	Δs_1	Δs_2	Δs_3	Δs_4	Δs_5	Δs_6	Σs_{46}	S	Lb	S-Lb	Lb/S
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[]
Zk	14.00	0.57	0.26	0.16	0.83	0.67	0.18	1.69	2.69	2.58	0.11	0.96
s	1.46	0.13	0.11	0.10	0.27	0.38	0.23	0.10	0.12	0.12	0.04	0.02
Sp	17.76	0.59	0.26	0.18	0.84	0.52	0.43	1.77	2.83	2.69	0.14	0.95
s	1.48	0.14	0.08	0.12	0.20	0.38	0.27	0.18	0.18	0.17	0.05	0.02

Interpretation der Wegmerkmale

Die Wegmerkmale $\Delta s_1 - \Delta s_4$ zeigen s6 längere Beschleunigungswege der Spezialisten gegenüber den Mehrkämpfern. Der kürzere Beschleunigungsweg in der stützlosen Abstoßphase (Ph6) wird von den Zehnkämpfern in der vorangehenden einstützigen Abstoßphase (Ph5) zu kompensieren versucht. Signifikant ist der Unterschied der beiden Gruppen jedoch nur hinsichtlich des Beschleunigungsweges Δs_6 . Die Ursache hierfür ist in dem häufigen Fehlen (56%) der Phase 6 bei den Zehnkämpfern zu sehen. Offensichtlich wird von den Zehnkämpfern der Standabstoß bevorzugt, während bei den Kugelstoßern der Sprungabstoß die Regel bildet.

Betrachtet man die Summe der letzten drei Beschleunigungswege $\Delta s_4 - \Delta s_6$, so ist hier lediglich eine signifikante Tendenz der Mittelwertsunterschiede festzustellen. Diese Tendenz wird auf dem Gesamtbeschleunigungsweg durch den in den ersten drei Phasen entstandenen Vorsprung verstärkt, reicht jedoch nicht zum Nachweis eines signifikanten Unterschiedes aus.

Beide Gruppen legen bis zur Stoßauslage mit der Kugel ungefähr 36% des Gesamtbeschleunigungsweges zurück. Der längste Beschleunigungsweg wird von beiden Gruppen in der zweistützigen Abstoßphase (Ph4) zurückgelegt.

Die geradlinige Verbindungslinie Lb der Kugellage zu Beginn der ersten und Ende der letzten Phase weist bei den Gruppen lediglich minimale Unterschiede in der Differenz zur Summe aller Wegmerkmale auf. Der Kugelweg der Spezialisten weicht demnach während der Gesamtbewegung von dem geradlinigen Beschleunigungsweg etwas mehr ab als der seitens der Zehnkämpfer.

3.2.2 Ergebnisse der Höhenmerkmale Kugel

Tab. 2: Ergebnisse der Höhenmerkmale (K)

	Δh_1	Δh_2	Δh_3	Δh_4	Δh_5	Δh_6	Σh_{46}	Σh_{16}	h_0
	[m]	[m]	[m]						
Zk	0.27	0.05	0.02	0.47	0.43	0.10	1.00	1.34	2.18
s	0.08	0.05	0.04	0.18	0.24	0.15	0.12	0.11	0.10
Sp	0.27	0.05	0.02	0.47	0.43	0.10	1.00	1.34	2.18
s	0.08	0.05	0.04	0.15	0.24	0.16	0.12	0.09	0.08

Interpretation der Höhenmerkmale

In den Mittelwerten der ersten beiden Phasen sind keine Unterschiede festzustellen. Bemerkenswert ist der Verlust an Höhe bei Athleten aus der Spezialistengruppe während der Angleitphase (Ph2). Auch in der darauffolgenden Übergangsphase (Ph3) sind es Spezialisten, die die größten Höhenverluste aufweisen, im Mittel jedoch insgesamt die Höhe halten, so daß die Höhenänderung in den ersten drei Phasen bei 31cm gegen-

über 34cm bei den Mehrkämpfern liegt. Analog den Wegmerkmalen wird der größte Gewinn an Höhe in der zweistützigen Abstoßphase (Ph4) mit leichten Vorteilen der Spezialisten vorgenommen.

Das Verhältnis des Höhengewinns in den ersten drei Phasen zu dem in den letzten drei beträgt sowohl bei den Mehrkämpfern als auch bei den Spezialisten in etwa 1:3. Im Vergleich zum Beschleunigungsweg (Verhältnis 1:2) ist die Gewichtung des Höhengewinns in der zweiten Hälfte der Stoßvorbereitung etwas vergrößert.

Das Höhen-Weg-Diagramm deutet ein späteres, jedoch höheres Aufrichten der Spezialisten an. Da die Kugel sich am Ende der dritten Phase im allgemeinen noch am Hals befindet, darf davon ausgegangen werden, daß bei den Spezialisten der Oberkörper entsprechend länger unten gehalten wird. Das längere Tiefhalten des Oberkörpers bedarf, nach Kontaktaufnahme des Schwungbeines, eines entsprechend größeren Kraftaufwands der Rumpfmuskulatur. Der Verdacht eines Kraftvorsprungs in der rumpfaufrichtenden Muskulatur in diesem Arbeits(winkel)bereich seitens der Spezialisten liegt nahe.

Signifikant sind die Unterschiede der beiden Gruppen in bezug auf die Höhenänderung in der zweistützigen Abstoßphase (Ph4) bis zum Abstoß der Kugel. Die Zehnkämpfer erreichen mit 1,00m nur 90% des Wertes der Spezialisten. In welchem Maße ein isoliertes Heben des Armes oder der vom Herausspringen mitgegebene Impuls dafür verantwortlich ist, kann ohne die Bestimmung von Körperlagemerkmalen nicht geklärt werden. Aufgrund der Kraftverhältnisse der Beine zu den Armen dürfte das Herausspringen den größeren Einfluß haben. Der Einfluß bzw. die Funktion des Stemmbeines kann ohne Bestimmung der Bodenreaktionskräfte auch nur spekulativ geklärt werden und unterbleibt daher.

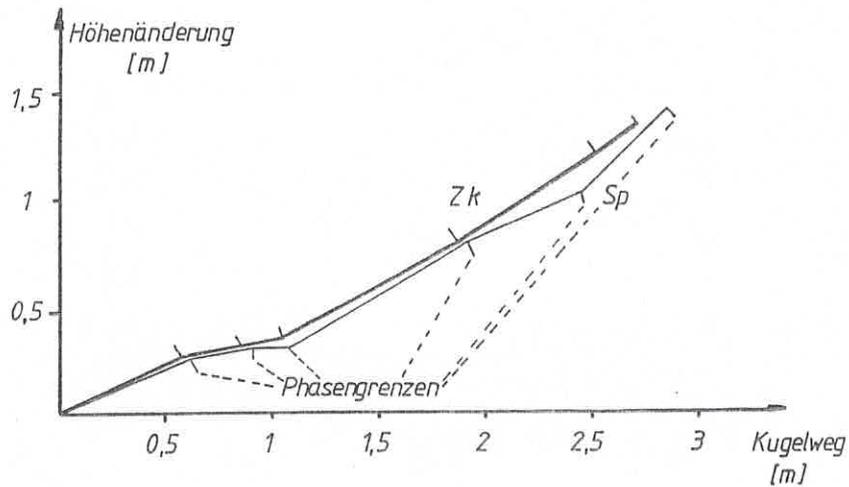


Abb. 4: Höhen-Weg-Diagramm (Kugel)

Aus Mangel an anthropometrischen Daten bezüglich der Körpergröße und Armlänge wird auf eine Interpretation der größeren Abflughöhe seitens der Spezialisten verzichtet.

Lediglich der Beschleunigungsweg der Kugel in der Angleitphase ist gegenüber der Untersuchung von KUHLOW (1975) um 22% vergrößert. Die übrigen Meßwerte stimmen mit den in der Literatur angegebenen überein.

3.2.3 Ergebnisse der Zeitmerkmale (Kugel)

Tab. 3: Ergebnisse der Zeitmerkmale (K)

	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4	Δt_5	Δt_6	Σt_{46}	T
	[s]	[s]						
Zk	0.35	0.10	0.08	0.19	0.07	0.02	0.28	0.80
s	0.08	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.09
SP	0.39	0.10	0.08	0.20	0.06	0.03	0.29	0.85
s	0.16	0.03	0.06	0.04	0.05	0.02	0.04	0.14

Interpretation der Zeitmerkmale

In bezug auf die Zeitmerkmale sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Leistungsgruppen festzustellen. Den größten Anteil an der Gesamtzeit nimmt bei beiden Gruppen die erste Phase mit 43,7% bzw. 45,3% ein. Auffallend ist hierbei eine um mehr als doppelt so große Variationsbreite der Spezialisten. Die zeitliche Gestaltung dieser Phase erfährt durch die Spezialisten offenbar eine sehr individuelle Ausprägung. Einheitlicher zeigt sich die absolute Phasendauer in den restlichen 5 Phasen. Eine direkte Proportionalität der Zeitmerkmale zu den Wegmerkmalen kann nicht festgestellt werden. Das Verhältnis der Dauer der Phasen 1-3 zur Dauer der Phasen 4-6 beträgt 2:1, d.h. umgekehrt proportional zu den Wegverhältnissen. Im Mittel benötigen die Mehrkämpfer 5,9% weniger Zeit für die gesamte Stoßbewegung.

Die Folgen der in den Zeitabschnitten zurückgelegten größeren Wegstrecken machen sich in den Geschwindigkeitsmerkmalen bemerkbar und werden im entsprechenden Abschnitt behandelt.

Mit Ausnahme der einstußigen Ausstoßphase (Ph5) legen die Mehrkämpfer in kürzerer Zeit weniger Weg zurück. Dies wirkt sich primär auf die Summe der Zeitmerkmale der letzten 3 Phasen aus. Die Spezialisten legen hier in 0,01sec 11cm mehr an Weg zurück und verrichten demnach entsprechend mehr an Beschleunigungsarbeit.

Während die Merkmale der absoluten Phasendauer in der zweiten, dritten und Summe der vierten bis sechsten Phase mit den Literaturwerten gut übereinstimmen, ist

dies bei den prozentualen Werten nicht der Fall (vgl. KUHLOW 1975). Verursacht wird die Diskrepanz der relativen Werte durch eine kürzere Dauer der einstufigen Startphase (Ph1) bei der vorliegenden Untersuchung. Die um 15% verkürzte Dauer der Abstoßphase (4.-6.Phase) bei ZACIORSKIJ et al. (1980) ist auf das qualitativ höher einzustufende Untersuchungsstichprobe ($\bar{x}=20,29\text{m}$) zurückzuführen. Offensichtlich nimmt die Fähigkeit zur Beschleunigung im Abstoßabschnitt mit dem Niveau zu.

3.2.4 Ergebnisse der Geschwindigkeitsmerkmale (Kugel)

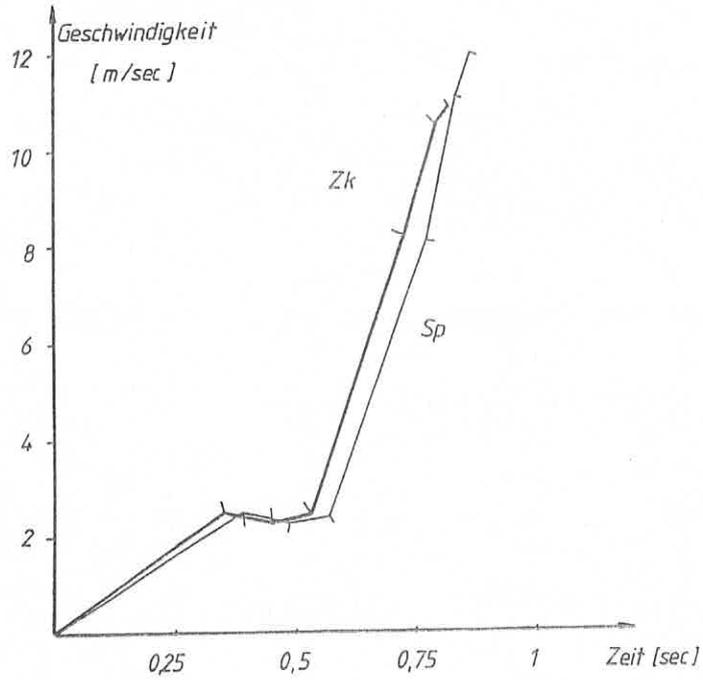


Abb. 5: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm Kugel

Tab. 4: Ergebnisse der Geschwindigkeitsmerkmale (K)

	Δv_1	Δv_2	Δv_3	Δv_4	Δv_5	Δv_6	v_x	v_z	v_0
	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Zk	2.5	-0.2	0.2	5.7	2.5	0.2	8.8	6.5	10.9
s	0.5	0.5	0.3	1.4	1.7	0.3	0.7	0.7	0.6
Sp	2.5	-0.2	0.1	6.5	2.7	0.8	10.0	7.4	12.5
s	0.6	0.4	0.3	1.9	2.0	0.8	0.5	0.6	0.6

Interpretation der Geschwindigkeitsmerkmale

Die graphische Darstellung (Abb.5) des Geschwindigkeitsverhaltens der Kugel zeigt eine einheitliche Verlaufscharakteristik beider Gruppen. Beide Gruppen erreichen ihren höchsten Geschwindigkeitszuwachs in der zweistützigen Abstoßphase (Ph4).

Die größte Differenz zwischen beiden Gruppen ist zum Zeitpunkt des Ausstoßes zu verzeichnen. Besondere Beachtung ist dem gering größeren Geschwindigkeitsverlust der Spezialisten in der stützlosen Anleitphase (Ph2) zu schenken. Hier nimmt die Kugelgeschwindigkeit der Spezialisten bis auf das Niveau der Zehnkämpfer ab. Erst mit dem Aufsetzen des Schwungbeines kommt es zu einer kontinuierlichen Vergrößerung des Geschwindigkeitsvorsprungs durch die Spezialisten, so daß in bezug auf die Summe der Geschwindigkeitszunahme der letzten 3 Phasen ein hochsignifikanter Unterschied entsteht. Der prozentuale Anteil des Geschwindigkeitszuwachses von der zweistützigen Ausstoßphase (Ph4) bis zum Abstoß der Kugel beträgt bei den Mehrkämpfern etwa 3/4 der Gesamtzunahme und bei den Spezialisten 4/5. Damit ergibt sich für das Verhältnis der ersten (Ph1-Ph3) zu den letzten drei Phasen (Ph4-Ph6) hinsichtlich der Geschwindigkeitszunahmen 1:3 bei den Mehrkämpfern und 1:4 bei den Spezialisten. Der signifikante Unterschied in der vertikalen Geschwindigkeitskomponente des Abfluges und der hochsignifikante Unterschied in der Abfluggeschwindigkeit haben ihre Ursache demnach eindeutig in den Phasen 4-6.

Literaturinformationen über die Geschwindigkeitsänderungen der Kugel stimmen mit den ermittelten Meßwerten überein.

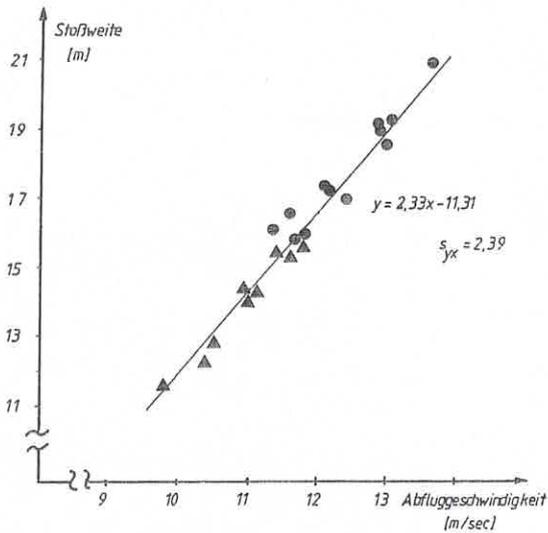


Abb. 6: Korrelationsdiagramm Abfluggeschwindigkeit und Stoßweite (s_{yx} : Standardschätzfehler der Regressionsgleichung)

Abbildung 6 verdeutlicht den statistischen Zusammenhang der Abfluggeschwindigkeit

keit und der Stoßweite. Der dominierende Einfluß der Abfluggeschwindigkeit auf die Stoßweite ($r = 0.99$) wird sichtbar. Die Regressionsgleichung ermöglicht eine Vorhersage der Kriteriumsvariablen Stoßweite durch die Vorgabe der Prädiktorvariablen Abfluggeschwindigkeit. Mit 10 m/sec Abfluggeschwindigkeit würde ein Athlet demnach 12m weit, mit 14 m/sec 21,31m weit stoßen.

3.2.5 Ergebnisse Lagemerkmale (Kugel)

Tab. 5: Ergebnisse des Lagemerkmals (K)

	α_0
	[°]
Zk	36.7
s	4.3
Sp	36.3
s	2.1

Interpretation der Lagemerkmale

Die Abstoßwinkel zeigen bei beiden Gruppen eine sehr große Streuung. So beträgt die Variationsweite der Zehnkämpfer 15,5 Grad, bei den Spezialisten dagegen nur 6,7 Grad. Dies wird bestätigt durch eine signifikant größere Standardabweichung. Die geringe Streuung seitens der Spezialisten deutet auf eine größere Bewegungskonstanz hin, was angesichts des vermehrten Trainingsaufwandes der Spezialisten für die Disziplin durchaus verständlich erscheint.

Im Mittel sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen, die Spezialisten sind jedoch von dem theoretisch optimalen Winkel etwas weiter entfernt als die Zehnkämpfer. Inwiefern dies durch funktionell-anatomische Voraussetzungen oder durch allgemeine Kraftübungen (z.B. Bankdrücken) bedingt ist, kann nicht festgestellt werden.

Die Winkelangaben bei KUHLOW (1975) sind annähernd gleich weit vom theoretisch optimalen Abflugwinkel entfernt wie bei der hier untersuchten Stichprobe. Die Angaben bei ZACIORSKIJ et al. (1980) kommen dem Ideal mit $40,1^\circ$ etwas näher.

3.2.6 Diskriminanzanalyse Kugelstoß

Bei Einbeziehung einer Kombination von Variablen in die Diskriminanzanalyse, in der die Abfluggeschwindigkeit enthalten ist, genügt diese eine Variable, um die Gruppen auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 0.01$ zu trennen. Die Vielzahl der definitorischen Abhängigkeiten und der hohen Korrelationen lassen bei Einbeziehen der Abfluggeschwindigkeit nur noch Variablen mit sehr geringem Unterscheidungsvermögen zu, so daß ein Aufnehmen in die Diskriminanzfunktion keine weitere Trennung bringt. Betrachtet man die hohe Korrelation der Abfluggeschwindigkeit mit der Stoßweite, so wird verständlich, daß diese Variable eine beinahe so gute Trennung der Gruppen ermög-

licht wie bei Verwendung der Kriteriumsvariablen Stoßweite. Aufgrund der Abfluggeschwindigkeit können 95,4% den Gruppen richtig zugeordnet werden. In der Gruppe der Spezialisten kann ein Athlet nicht korrekt zugeordnet werden.

Zur Feststellung des Trennungsvermögens anderer Variablen wurde die Variable Abfluggeschwindigkeit ausgeschlossen und 6 andere Variablen in die Diskriminanzanalyse einbezogen, die Unterschiede bezüglich der Mittelwerte feststellen ließen und untereinander keine Korrelationskoeffizienten größer als 0.5 aufweisen konnten. Die Variablen wurden stufenweise berücksichtigt.

Als erste einzubeziehende Variable wird diejenige ausgewählt, die allein die beste Gruppentrennung ermöglicht. Aus den verbleibenden Variablen wird dann jeweils diejenige ausgewählt, die die Gruppentrennung am meisten verbessert. Bereits einbezogene Variablen können wieder ausgeschlossen werden, wenn der Trennbeitrag dieser Variablen durch später hinzukommende Variablen verschlechtert wird. Das Verfahren endet, sobald entweder alle Variablen einbezogen worden sind oder die verbleibenden Variablen keinen signifikanten Trennbeitrag liefern.

Das Kriterium für die sequentielle Berücksichtigung der unabhängigen Variablen bildet WILKS LAMBDA. WILKS LAMBDA stellt ein Maß für die Unterschiedlichkeit der Gruppen dar. Je größer der Wert für WILKS LAMBDA ist, umso größer ist der Unterschied der Gruppen (SCHUCHARD-FISCHER et al. 1982,153.).

Am Ende des Verfahrens steht eine Diskriminanzfunktion, deren Koeffizienten als ein Maß für die diskriminatorische Bedeutung der einzelnen Variablen betrachtet werden können. Sind diese hoch positiv oder hoch negativ, bedeutet dies, daß die zugehörige Variable charakteristisch für die Diskriminanzfunktion ist (BORTZ 1977,731.).

Die linearkombinierten Meßwerte der Athleten ergeben für jeden Probanden einen Diskriminanzfaktor. Mittelt man die Diskriminanzfaktoren der jeweiligen Gruppenmitglieder, so entsteht eine Zuordnung jeder Gruppe zu einem Diskriminanzmittelwert.

3.2.6.1 Ergebnis der stufenweisen Diskriminanzanalyse (Kugelstoß)

Die Faktormittelwerte betragen bei den Zehnkämpfern $F_{KZk} = -1.136$ und bei den Spezialisten $F_{KSp} = 0.851$.

Tab. 6: Gewichtungskoeffizienten der ausgewählten Variablen

Schritt-Nr.	Variable	WILKS LAMBDA	Gewichtungskoeffizient
1.	h_6	0.758	1.54
2.	v_5	0.651	1.22
3.	S-Lb	0.523	0.89
4.	h_3	0.483	0.51

Tabelle 6 sind die nach vier Schritten einbezogenen Variablen mit den zugehörigen Diskriminanzkoeffizienten zu entnehmen. Anhand dieser Variablen ist es möglich, die

beiden Gruppen signifikant zu trennen, d.h. bei Vorlage der gesamten Merkmalsstichprobe genügt die Sichtung der 4 ausgewählten Variablen, um 85.7% der Athleten den Gruppen korrekt zuzuordnen. Der Gruppe der Zehnkämpfer würden 77.8%, den Spezialisten sogar 91.7% korrekt zugeordnet. Aus der Gruppe der Zehnkämpfer wurden anhand der diskriminierenden Variablen zwei Athleten der Gruppe der Spezialisten zugeordnet. Im Falle der Spezialisten wurde ein Athlet den Mehrkämpfern zugeordnet.

Den größten Anteil der Aufklärung des Diskriminanzfaktors besitzt die Höhenänderung h_6 in der stützlosen Ausstoßphase (Ph6) mit 1.54. Bemerkenswert ist der Einfluß des Maßes für die Geradlinigkeit des Kugelbeschleunigungsweges S-Lb. Hier besitzen allerdings die Mehrkämpfer den weniger krummlinigen Kugelverlauf. Die geringste Aufklärung des Diskriminanzfaktors erbringt die Höhenänderung in der einstützigen Übergangsphase (Ph3). Abbildung 7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Probanden in bezug auf den Diskriminanzfaktor.

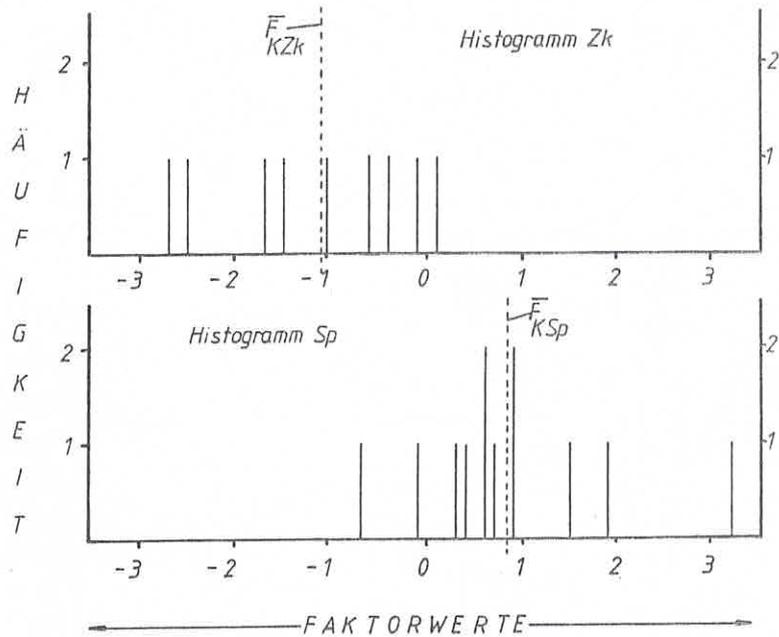


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Faktorwerte (Kugelstoß)

4.1 Personen- und Merkmalsstichprobe Diskuswurf

4.1.1 Personenstichprobe Diskuswurf

Aufgrund der geringen Stichprobenzahl wurden zwei gering übertretene Versuche von Spezialisten mit in die Auswertung aufgenommen. Die Probandenzahl beträgt bei den Spezialisten somit 6, bei den Zehnkämpfern 7. Beide Gruppen gehörten der nationalen westdeutschen Spitze 1983 an. Alle Athleten warfen mit 1 1/2 Drehungen und waren Rechtswerfer. Die Daten entstammen alle Einzelwettkämpfen. Die Wurfweiten der Spezialisten liegen zwischen 43,82m und 62,38m, die der Zehnkämpfer zwischen 36,16m und 47,12m. Eine Ausnahmestellung bei den Spezialisten zeigt der Werfer mit 43,82m, da er von der Weite her als einziger Spezialist auch in die Gruppe der Mehrkämpfer eingeordnet werden könnte.

4.1.2 Merkmalsstichprobe Diskuswurf

Die quantitative Beschreibung der Wurftechnik wurde phasenbezogen vorgenommen. Die Phasengrenzen t_1 bis t_6 wurden wie folgt definiert (Rechtswerfer):

- t_1 : Ende der Anschwungphase, Umkehrpunkt der Bewegungsbahn des Diskus
- t_2 : Ende der zweibeinigen Andrehphase, rechtes Bein verläßt den Boden
- t_3 : Ende der einbeinigen Andrehphase, Abdruck links zum Umsprung
- t_4 : Ende der stützlosen Umsprungphase, Aufsetzen rechts nach dem Umsprung
- t_5 : Ende der einstützigen Übergangphase, Aufsetzen links (zur Wurfauslage)
- t_6 : Diskus verläßt die Hand.

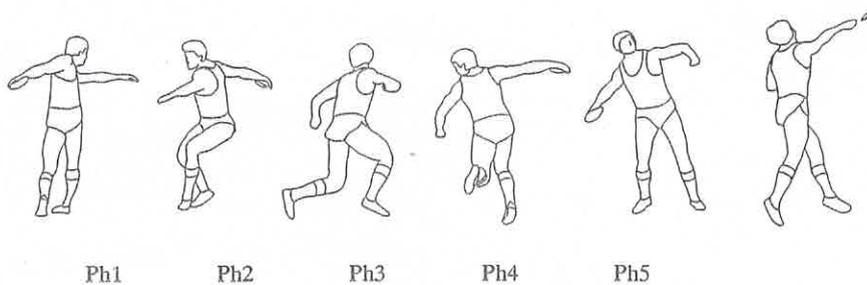


Abb. 8: Phaseneinteilung der Diskuswurfbewegung

Entsprechend wird die Gesamtbewegung Diskuswurf in folgende 5 Phasen untergliedert:

- 1) zweistützige Andrehphase (Ph1)
- 2) einstützige Andrehphase (Ph2)
- 3) stützlose Umsprungphase (Ph3)
- 4) einstützige Übergangsphase (Ph4)
- 5) zweistützige Abwurfphase (Ph5)

Der Phaseneinteilung entsprechend wurden folgende Merkmale bestimmt:

a) Wegmerkmale:

- Beschleunigungsweg des Diskus während der fünf Phasen $\Delta s_1 - \Delta s_5$
- Gesamtbeschleunigungsweg des Diskus S
- Abflughöhe des Diskus h_0

b) Zeitmerkmale:

- Dauer der einzelnen Bewegungsphasen $\Delta t_1 - \Delta t_6$
- Gesamtdauer der Bewegung T

c) Geschwindigkeitsmerkmale:

- Mittlere Geschwindigkeitsänderungen $\Delta v_1 - \Delta v_5$ des Diskus während der einzelnen Phasen
- Abfluggeschwindigkeit v_0 des Diskus sowie die Komponenten in x-, y- und z-Richtung v_x, v_y, v_z

d) Lagemerkmale:

- Abflugwinkel des Diskus α
- Abflugrichtung des Diskus γ
- Anstellwinkel des Diskus δ
- Angriffswinkel des Diskus β

4.2. Untersuchungsergebnisse Diskuswurf

4.2.1 Ergebnisse der Wegmerkmale Diskus

Tab. 7: Ergebnisse der Wegmerkmale (D)

	W	Δs_1	Δs_2	Δs_3	Δs_4	Δs_5	S
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Zk	43.93	1.97	2.43	0.80	1.19	2.66	9.05
s	3.92	0.36	0.22	0.15	0.21	0.16	0.43
Sp	55.94	2.11	2.51	0.69	1.29	2.62	9.18
s	7.10	0.27	0.36	0.20	0.33	0.22	0.66

Interpretation der Wegmerkmale (D)

In keiner Phase sind signifikante Unterschiede der Gruppenmittelwerte von Zehnkämpfern und Spezialisten festzustellen. Den größten Wegvorsprung erreichen die Spezialisten am Ende der einstützigen Andrehphase mit 22 cm. Durch einen vergrößerten Beschleunigungsweg der Zehnkämpfer in der stützlosen Umsprungphase (Ph3) und einstützigen Übergangsphase (Ph4) beträgt der Vorsprung mit dem Abwurf des Diskus noch 13 cm. Mit 9,05m erreichen die Zehnkämpfer 98,6% des Beschleunigungsweges der Spezialisten. Der absolut größte Weggewinn erfolgt bei beiden Gruppen in der zweistützigen Abwurfphase (Ph5). Inwiefern der Wegvorsprung der Spezialisten durch eine veränderte Bewegungsführung oder anthropometrisch bedingt ist, kann nicht geklärt werden.

4.2.2 Ergebnisse der Zeitmerkmale Diskus

Tab. 8: Ergebnisse der Zeitmerkmale (D)

	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4	Δt_5	T
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
Zk	0.53	0.39	0.12	0.19	0.20	1.43
s	0.10	0.06	0.03	0.04	0.02	0.12
Sp	0.51	0.36	0.08	0.17	0.18	1.32
s	0.07	0.06	0.02	0.04	0.02	0.07

Interpretation der Zeitmerkmale

Die Ergebnisse zeigen eine Verkürzung der Dauer sämtlicher fünf Phasen durch die Spezialisten im Vergleich zu den Zehnkämpfern. Signifikant jedoch sind die Unterschiede nur in der stützlosen Umsprungphase. Die längere Dauer der Zehnkämpfer für diese Phase zeigt eine verlängerte Flugzeit an. Unter der Voraussetzung des gleichen Abstandes der Berührungspunkte am Wurfboden kann von einem größeren Vertikalimpuls der Zehnkämpfer am Ende der einstützigen Andrehphase ausgegangen werden. Ein Fehlen des Bodenkontaktes macht es jedoch unvergleichbar schwerer, ein System zu beschleunigen. Da in der darauffolgenden einstützigen Übergangsphase der Beschleunigungsweg seitens der Zehnkämpfer verkürzt ist, scheint der Körper in der verlängerten Flugzeit auch weiter in Wurfrichtung zu drehen, wodurch die Verkürzung des Beschleunigungsweges zustande kommt. Zur genaueren Diagnose ist jedoch die Bestimmung von Lage- und Körperwinkeln Voraussetzung.

Die Diskrepanz der Gesamtdauer der Wurfbewegung zeigt in den Mittelwerten eine noch signifikante Tendenz zugunsten der Spezialisten. Die relativen Anteile der partiellen Zeitmerkmale an der Gesamtdauer weisen nur minimale Unterschiede auf.

Betrachtet man gemeinsam mit den Zeitmerkmalen die Wegmerkmale (Abb.9), so wird sichtbar, daß trotz längeren Beschleunigungswegs die Bewegung von den Spezialisten in kürzerer Zeit zurückgelegt wird. Eine Verkürzung der Gesamtwurfdauer belastet zunächst in Folge erhöhter Drehgeschwindigkeit in stärkerem Maße das Vestibularsystem des Athleten - durch erhöhte Drehgeschwindigkeit. Wird zusätzlich die Länge des in der verkürzten Zeit zurückgelegten Weges berücksichtigt, kommen entsprechende Beschleunigungs(bzw. Kraft-)differenzen mit zum Tragen, d.h. mit Zunahme der Geschwindigkeit sind nicht nur höhere Kräfte aufzubringen, sondern diese auch in kürzeren Zeiten zu entwickeln.

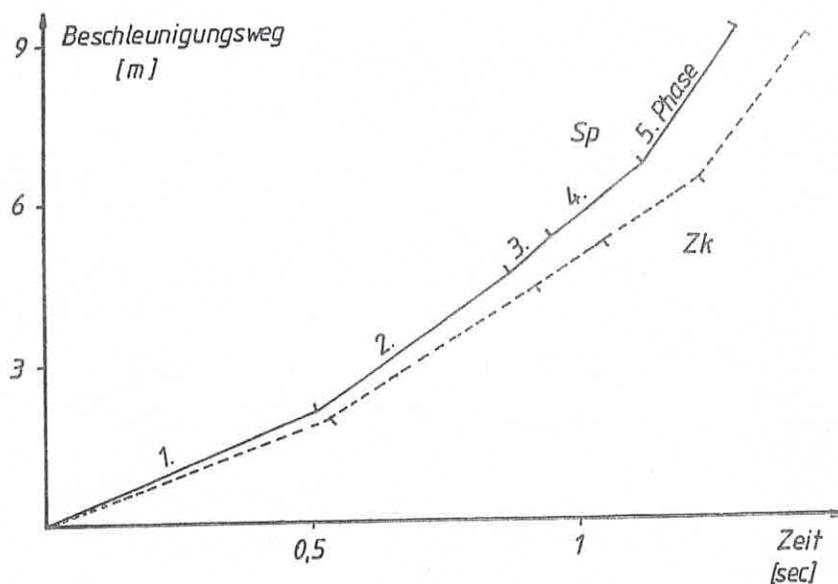


Abb. 9: Weg-Zeit-Diagramm (Diskus)

In bezug auf die Variationsbreite der Gesamtdauer des Wurfes sind bei den Spezialisten homogenere Werte festzustellen. Die Toleranzgrenzen der Bewegungskonstanz sind offensichtlich auch hier ab einem bestimmten Niveau eingeschränkt.

4.2.3 Ergebnisse der Geschwindigkeitsmerkmale (Diskus)

Interpretation der Geschwindigkeitsmerkmale

Beim Vergleich der phasenweisen Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe zeigen die beiden Gruppen unterschiedliche Charakteristiken. Während die Spezialisten in der einstützi-

gen Übergangsphase (Ph4) noch einen Geschwindigkeitsverlust aufweisen, ist bei den Zehnkämpfern eine Zunahme der Diskusgeschwindigkeit festzustellen.

Tab. 9: Ergebnisse der Geschwindigkeitsmerkmale (D)

	Δv_1	Δv_2	Δv_3	Δv_4	Δv_5	v_x	v_y	v_z	v_0
	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Zk	5.2	1.9	-0.5	0.2	14.4	17.6	2.6	11.5	21.3
s	0.7	1.0	0.6	1.0	0.8	1.2	1.4	0.6	1.3
SP	6.3	2.7	-1.1	-0.2	16.0	18.5	5.4	13.5	23.8
s	2.3	2.3	1.6	1.0	1.0	1.3	3.0	1.4	1.3

In den ersten beiden Drehphasen steigen die Kurven beider Leistungsgruppen an. Die Zunahme der Diskusgeschwindigkeit ist bei den Spezialisten hierbei um soviel größer, daß zu Beginn der Umsprungphase ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen festzustellen ist. Bemerkenswert ist dabei die hochsignifikant größere Standardabweichung der Spezialisten in der ersten Phase. Sie deutet ähnlich dem Kugelstoßen auf eine sehr individuelle Gestaltung der Geschwindigkeitsänderung in dieser Phase hin und wirkt sich auf die Streuung der folgenden Geschwindigkeitsmerkmale entsprechend aus. Der Geschwindigkeitsverlust in der Drehumsprungphase (Ph3) ist den Spezialisten wie den Mehrkämpfern gemeinsam.

Die Geschwindigkeitszunahme in der zweistützigen Abwurfphase (Ph5) ist bei den Spezialisten signifikant größer als bei den Mehrkämpfern, so daß die resultierende Abfluggeschwindigkeit des Diskus im Mittel die Kriterien eines signifikanten Unterschiedes erfüllt. Offensichtlich nehmen die Spezialisten in der einstützigen Übergangsphase (Ph4) einen weiteren Geschwindigkeitsverlust in Kauf, um bei günstigerer Ausgangsposition in der zweistützigen Abwurfphase (Ph5) umso höher beschleunigen zu können.

Die hohe Korrelation der Flugweite mit der Abfluggeschwindigkeit ($r=0.99$) und die Heterogenität der Spezialisten in bezug auf die Wurfweite erklären die kleineren Standardabweichungen der Mehrkämpfer in den Abfluggeschwindigkeitsmerkmalen. Einen Ausreißer in der Gruppe der Spezialisten stellt der Werfer mit 43,82m dar. Inwiefern dieser der Gruppe der Spezialisten bzw. der Gruppe der Mehrkämpfer zugeordnet werden muß, wird im Abschnitt der Diskriminanzanalyse geklärt.

4.2.4 Ergebnisse der Lagemerkmale (Diskus)

Interpretation der Lagemerkmale

Vorbemerkung: Da keine Windangaben vorliegen, wird bei der Interpretation von Windstille ausgegangen.

Tab. 10: Ergebnisse der Lagemerkmale (D)

	α_0	γ_0	δ_0	β_0	
	[°]	[°]	[°]	[°]	
ZK	32.9	8.4	27.4	-5.4	α_0 : Abwurfwinkel
s	2.8	4.4	5.2	6.0	γ_0 : seitlicher Abwurfwinkel
SP	34.7	16.5	25.3	-9.3	δ_0 : Anstellwinkel
s	3.2	8.9	2.6	4.6	β_0 : Angriffswinkel

a) Abflugwinkel des Diskus

Die Mittelwerte der beiden Leistungsgruppen weisen eine Differenz von 5.3% auf. Angesichts der höheren Abfluggeschwindigkeit des Diskus bei den Spezialisten ist der um 1.8° größere Abflugwinkel einleuchtend, ist jedoch statistisch nicht signifikant.

b) Abflugrichtung des Diskus

Der Unterschied in bezug auf die Abflugrichtung zeigt eine signifikante Tendenz. Im Mittel werfen die Spezialisten näher an den rechten Sektorrand als die Mehrkämpfer. Der Unterschied in der Standardabweichung ist nicht signifikant, obwohl die Spezialisten eine doppelt so große Streuung ihrer Würfe aufweisen als die Zehnkämpfer. Offensichtlich ist mit steigender Drehgeschwindigkeit die Orientierung im Raum und damit die Richtungskonstanz der Bewegung erschwert.

c) Anstellwinkel des Diskus

Der steilere Anstellwinkel seitens der Mehrkämpfer kann zum einen als Folge von einem 'Aufklappen der Hand' im Zeitpunkt des Abwurfs gesehen werden, zum anderen von einem steilen Verlauf der Bahnkurve am Ende der letzten Phase herrühren. Der Unterschied in dem Streuungsmaß deutet auf eine größere Bewegungskonstanz der Spezialisten in bezug auf 'das Gefühl für den Diskus'.

d) Angriffswinkel des Diskus

Hinsichtlich des Angriffswinkels sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Die funktionelle Abhängigkeit des Angriffs- und Anstellwinkels erklärt die größere Streuung dieses Merkmals, d.h. die Spezialisten zeigen das konstantere Empfinden für die 'Lage' des Diskus im Raum.

4.2.5 Diskriminanzanalyse Diskuswurf

Tab.11: Gewichtungskoeffizienten der ausgewählten Variablen

Schritt-Nr	Variable	WILKS LAMBDA	Gewichtungs-koeffizient
1.	v_5	0.355	0.785
2.	t_3	0.224	-0.737
3.	0	0.189	0.449

Analog dem Kugelstoßen war bei alleiniger Einbeziehung der Abfluggeschwindigkeit in die schrittweise Diskriminanzanalyse eine Trennung der Gruppen auf dem $\alpha = 0.01$ Signifikanzniveau möglich. Entsprechend wurden 5 Variablen ausgewählt, die definitorische Unabhängigkeit und niedrige korrelative ($r < 0.5$) Beziehungen aufwiesen.

4.2.5.1 Ergebnis der Diskriminanzanalyse Diskus

Ist die Variable Abfluggeschwindigkeit ausgeschlossen, so ist eine signifikante Trennung der Gruppen aufgrund von drei Variablen möglich.

Der Gruppe der Zehnkämpfer wurde der Faktormittelwert $F_{DZK} = -1.595$ und den Spezialisten der Wert $F_{DSP} = 2.233$ zugeordnet. Die Geschwindigkeitsänderung in der zweistützigen Abwurfphase Δv_5 trägt vor der Dauer der stützlosen Umsprungphase Δt_3 am meisten zur Aufklärung des Diskriminanzfaktors bei. Am wenigsten trägt der Diskriminanzkoeffizient der Abflugrichtung γ_0 zur Aufklärung bei. Das negative Vorzeichen des Gewichtungskoeffizienten bedeutet, daß mit Vergrößerung des Merkmalwertes ein Abnehmen des Faktorwertes verbunden ist (BORTZ 1977, 731.).

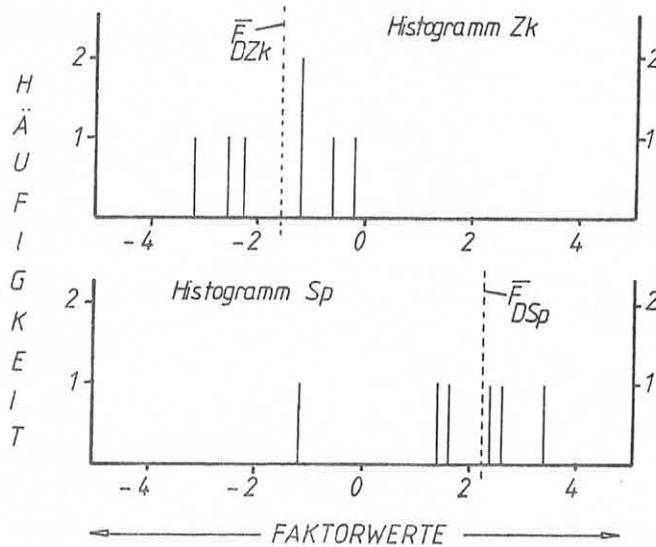


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Faktorwerte (Diskus)

Anhand der 3 Variablen können 100% der Zehnkämpfer und 83,3% der Spezialisten korrekt zugeordnet werden. Die Wahrscheinlichkeit der korrekten Zuordnung stieg von 59,3% bei beliebiger Auswahl des Merkmals und Zuordnung zur größeren Gruppe (hier 7 Zehnkämpfer), auf 92,3%. Der bei den Spezialisten falsch zugeordnete Athlet weist offensichtlich in den 3 Merkmalen Ausprägungen auf, die ihn eher der Gruppe der Zehnkämpfer zuordnen lassen als den Spezialisten. Hingegen ist unter den Mehrkämpfern kein Athlet, der in Folge der Merkmalsausprägungen der 3 Variablen den Spezialisten

sten zugeordnet werden könnte. Abbildung 10 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Athleten in bezug auf den Diskriminanzfaktor.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Untersuchung vergleicht Zehnkämpfer mit Spezialisten in den Disziplinen Kugelstoß und Diskuswurf. Die untersuchten kinematischen Merkmale ermöglichen die Beschreibung und darüber hinausgehend die Analyse der zweiten und dritten Erklärungsebene einer Deduktionskette zum Zehnkampf. Dynamische Merkmale, die der vierten Erklärungsebene angehören, bleiben unberücksichtigt. Ausgehend von den ermittelten Abflugbedingungen wird untersucht, welches Merkmal am stärksten zu den Unterschieden der beiden Leistungsgruppen beiträgt. In beiden Disziplinen sind in erster Linie signifikante Unterschiede in bezug auf die Geschwindigkeitsmerkmale im Abstoß- bzw. Abwurfabschnitt festzustellen. Während diese Unterschiede beim Kugelstoß primär durch Unterschiede in einzelnen Wegmerkmalen bedingt sind, sind die Bedingungen für Unterschiede beim Diskuswurf primär in der Summe der Zeitmerkmale zu suchen. So zeigen die Spezialisten beim Kugelstoß im Abstoßabschnitt eine signifikant längeren Beschleunigungsweg als die Mehrkämpfer. Die Unterschiede in den Wegmerkmalen dieses Abschnitts werden von den Höhenmerkmalen hergeleitet. Die Spezialisten richten den Oberkörper später, dafür jedoch höher auf als die Mehrkämpfer.

Beim Diskuswerfen weisen die Spezialisten in sämtlichen Phasen kürzere Zeitmerkmale auf. Signifikant ist der Unterschied in der stützlosen Umsprungphase sowie in der Gesamtwurfdauer.

Eine prozentuale Betrachtung der phasenbezogenen Merkmale scheint in beiden Disziplinen nicht geeignet, da die jeweils erste Phase äußerst individuelle Ausprägungsformen durch die Athleten aufweist.

Die gefundenen Untersuchungsergebnisse zeigen aufgrund geringerer Trainingsumfänge der Zehnkämpfer in den beiden Disziplinen eine eingeschränkte Orientierbarkeit an Normwerten, die an Spitzenathleten gewonnen werden. Zur erweiterten Übertragbarkeit und Interpretation von Normwerten wäre die zusätzliche Bestimmung von körperbau-, bzw. körperlagerrelativierenden Merkmalen notwendig. Neben der Ermittlung solcher Komplexmerkmale käme der Technikbeobachtung der Mehrkämpfer innerhalb eines Zehnkampfes, aufgrund von Ermüdungs- und Wechselwirkungseinflüssen, besonderes Interesse zu.

LITERATUR

BORTZ, J.: Lehrbuch der Statistik. Berlin 1977.

KUHLOW, A.: Die Technik des Kugelstoßens der Männer bei den Olympischen Spielen 1972 in München.

In : Beiheft zu Leistungssport 2 (1975).

SCHÖLLHORN, W.: Biomechanische Analyse von Zehnkämpfern und Spezialisten in den Disziplinen Kugelstoß und Diskuswurf. Unveröffentlichte Diplomarbeit. Mainz 1985.

SCHUCHARD-FISCHER, C./ BACKHAUS, K./ HUMME, U./ LOHRBERG, W./ ZACIORSKIJ, W.M./ AURIN, A.S./ SELUJANOW, W.N.: Biomechanik des menschlichen Bewegungsapparates. Berlin 1984.

ZACIORSKIJ, W.M./ LANKA, J.E./ SCHALMANOW, A.A.: Biomechanische Probleme des Kugelstoßens.

In: Leistungssport 2 (1980) 132-142.

Weiterführende Literatur ist beim Autor zu erfragen.