

ZUR STRUKTURANALYSE DES SPORTKEGELNS:
EINE VERGLEICHENDE KINMATOGRAPHISCHE
UNTERSUCHUNG ZWEIER BEWEGUNGSABLÄUFE

Diplomarbeit
der Sportwissenschaft
am Institut für Sportwissenschaft
der Universität des Saarlandes
Referent: Prof. Knauf

vorgelegt von
Thomas Karker
aus Echterdingen bei Stuttgart

WS 1982/83

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung

1.1 Problematik

1.1.1 Beitrag der Biomechanik zur Optimierung der sportlichen Technik im Sportkegeln

1.1.1.1 Ausprägung von kinematischen und dynamischen Parametern im Sportkegeln

1.1.1.2 Nutzung der biomechanischen Möglichkeiten des Bewegungsapparates

1.2 Zum Handlungsziel des Sportkegelns

1.3 Bisheriger Forschungsstand zur sportlichen Technik des Sportkegelns (Grohmann, Steiner, Gautier, Rehling, Haas)

2. Untersuchungsmethode

2.1 Photographische Aufnahmeverfahren

2.1.1 Serienphotographie contra Chrono-Photographie

2.1.2 Zum meßtechnischen Wert photographisch gespeicherter Information von Bewegungsabläufen

2.2 Chrono-Zyklo-Photographie

2.2.1 Theoretische Vorüberlegungen

2.2.1.1 Belichtungszeit und Rotationsgeschwindigkeit des Rotors

2.2.1.2 Zur Bestimmung des Zeitdifferentials dt , des Wegdifferentials ds und der Geschwindigkeit v

2.2.1.3 Zur Versuchsperson

2.2.1.4 Zur Meßgenauigkeit

3. Versuchsanordnung

3.1 Bau der Rotorblende I

3.1.1 Materialliste

3.1.1.1 Zur Rotorscheibe

3.1.1.2 Zum Motor

- 3.2 Untersuchungsvorbereitungen und Untersuchungsdurchführung
 - 3.2.1 Erste Aufnahmeserie
 - 3.2.2 Zweite Aufnahmeserie
 - 3.2.3 Dritte Aufnahmeserie
 - 3.2.4 Vierte Aufnahmeserie und Bau der Rotorblende II
 - 3.2.5 Fünfte Aufnahmeserie
 - 3.2.6 Sechste Aufnahmeserie
 - 3.2.7 Siebte Aufnahmeserie

4. Bewertungs- und Untersuchungskriterien

- 4.1 Zur Strukturanalyse: Funktionsanalyse
 - 4.1.1 Definitionen
 - 4.1.2 Charakterisierung der Funktionsphasen
 - 4.1.3 Klassifizierung der Funktionsphasen
 - 4.1.4 Hierarchisierung der Funktionsphasen
 - 4.1.4.1 Hilfsfunktionsphasen
 - 4.1.4.2 Hauptfunktionsphasen
 - 4.1.4.3 Übergangsfunktionsphasen
 - 4.1.5 Zeitliche Strukturierung der Funktionsphasen
 - 4.1.5.1 Zeit als ordnender Faktor
 - 4.1.5.2 Zeit als limitierender Faktor
 - 4.1.5.3 Zeit in Abhängigkeit von äußeren Gegebenheiten

3. Funktionsanalyse im Sportkegeln

- 5.1 Bewegungs- und Bezugsgrundlagen
- 5.2 Welche Funktionsphasen lassen sich festlegen
- 5.3 Durch welche Bewegerooperationen können die einzelnen Funktionen bewerkstelligt werden
 - 5.3.1 Bewegerooperation bei der Grundstellung und dem Auftakt
 - 5*3.2 Bewegerooperation bei der Beschleunigung des Systems Bewegero-Movendum während des Anlaufs

- 5.3-3 Bewegerooperation bei der Kugelabgabe
und dem Abbremsen des Bewegersystems
- 5.4- Graphische Darstellung des Bewegungsablaufes
an Hand eines Funktionsphasenmodelles
- 5.5 Welche Verlaufsmerkmale lassen sich für die
verschiedenen Funktionsphasenoperationen
angeben
 - 5.5.1 Verlaufsmerkmale bei der Grundstellung
und dem Auftakt
 - 5.5.2 Verlaufsmerkmale des Anlaufs
 - 5.5.3 Verlaufsmerkmale der Kugelabgabe und
des Aufgangschrittes
- 6. Diskussion der Ergebnisse
 - 6.1 Vergleich und Bewertung beider analysierter
Bewegungsabläufe im Sportkegeln
- 7. Anhang
 - 7.1 Urlisten
 - 7.2 Graphen (v , t , a)
 - 7.3 Übertragene Bewegungen auf Millimeterpapier
- 8. Literaturangaben

1. Einleitung

1.1 Problematik

" Kegeln oder Sportkegeln ist ein Spiel, dessen gesellschaftliche Popularität über alle Grenzen und Kontinente reicht, Millionen in Deutschland betreiben es regelmäßig als Freizeit- oder Leistungssport. Es stellt somit ein Synonym für Geselligkeit, aber auch für Leistungs- und Wettkampfsport dar."

(Grohmann, G. 1978, S.23)

Spricht der Laie vom Federballspiel, so assoziiert er damit unwillkürlich eine ungezwungene Freizeitbeschäftigung auf der Straße, Wiese oder am Strand. Wird das Spiel Badminton genannt, so tauchen Bilder aus den Massenmedien auf, von packenden Zweikämpfen, von langandauernden atemberaubenden Ballwechseln und von überraschenden Reaktionen, die auf allerhöchsten Einsatz und Willensanstrengung schließen lassen.

(vgl. Steiner, H. 1980)

Ebenso ist es beim Sportkegeln. Hier läuft der Sportkegler immer noch Gefahr von seinen Mitmenschen mitleidig belächelt zu werden. Obwohl sich diese Sportart schon seit Anfang dieses Jahrhunderts zu einer echten Wettkampfsportart entwickelt hat und auch in den Medien viel über sie berichtet wird, bleibt ihr die richtige Anerkennung der breiten Öffentlichkeit doch oft versagt. Das Sportkegeln leidet unter dem vorurteilsverhafteten Denken, daß dem Gesellschaftskegeln anhaftet, nämlich daß das Kegeln über ein geselliges Beisammensein in alkoholgeschwängelter Atmosphäre und gelegentlichen Gesangseinlagen nicht hinauskommt.

Dem ist jedoch nicht so; beim Sportkegeln sind höchste Konzentration, gespannte Aufmerksamkeit, fein aufeinander abgestimmte, automatisierte Bewegungsabläufe Äußerungen des gesamten Spannungsbogens eines Wettkampfes, der über eine Distanz von 100 oder 200 Wurf geht. Das Sportkegeln beginnt spätestens dort, wo ein Leistungsvergleich über die frohe Runde hinaus mit anderen Sportkeglern gesucht wird. Dies wird einerseits durch die Statistik der ansteigenden Mitgliederzahlen in den Kegelvereinen ersichtlich, hier rangiert der DKB (Deutscher Keglerbund) mit 166 364 Mitgliedern an 14. Stelle der Spitzenfachverbände des DSB im Jahre 1976 (vgl. Grieswelle, D. 1978), andererseits durch die Einteilung von Spielklassen in Kreis-, Bezirk-, Land- oder Bundesebene bis hin zu nationalen und internationalen Wettkämpfen, deren Niveau und Bedeutung von Jahr zu Jahr zunehmen. Dies wird durch steigende Trefferergebnisse in den einzelnen Spielklassen und in den Einzelwettbewerben immer deutlicher.

Geht man davon aus, daß bei einem 200 Wurf-Wettkampf eine theoretische Treffersummation von 1800 Holz möglich sind und sich die durchschnittliche Trefferquote von ca. 880 Holz vor einigen Jahren auf über 920 Holz, die ein mittelmäßiger Bundesligaspieler heutzutage erreicht, gesteigert hat-, und-diese Trefferergebnisse im Durchschnitt nur wenig mehr als 50 % der maximal erreichbaren Trefferzahl darstellt, so führe ich dies nicht nur auf verbesserte Materialien beim Kegelbahnbau zurück, sondern in erster Linie auf eine Konkretisierung und Systematisierung von Trainingsplänen sowie Bewegungsabläufen.

" Versuchen wir uns über das Bild der sportlichen Leistung beim Sportkegeln auf analytischer Ebene

Klarheit zu verschaffen, so müssen wir nach den Gesetzmäßigkeiten seiner Handlungsabläufe fragen und zugleich nach den hiermit bedingten Reizgegebenheiten, die bei den Betreibenden als Einstellungen, Kognitionen und Gefühlen erlebnismäßig zum Ausdruck kommen." (Steiner, H. 1980, S.122)

Um die *Bestrebung* der zunehmenden Leistungssteigerung in Zukunft noch gezielter vorantreiben zu können, bedarf es erst einmal einer systematischen Untersuchung der Bewegung, deren Inhalt es sein soll, sich mit den funktionalen Einheiten der Bewegung durch eine Chrono-Zyklographie zu befassen. Es sollen bei dieser Arbeit zwei verschiedene Bewegungsausführungen aus dem Sportkegeln als kinematographische Bewegungsanalyse erfaßt und ausgewertet werden.

" Sie umfaßt die graphische und numerische Ermittlung all derjenigen Werte, die sich ausschließlich aus der Messung des Weges, der Zeit und ihrer Ableitung, der Geschwindigkeit, der Beschleunigung, sowie der Bewegungsrichtung und der Richtungsänderung ergeben, sie umfaßt ferner die Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen diesen Größen, die wir kinematische Parameter nennen."

(Gutewort, W./Töpfer, D. 1968, S.810-811)

Die Charakterisierung der Zusammenhänge der kinematischen Parameter der aufgenommenen Bewegungsabläufe sollen in einer vergleichenden Funktionsanalyse (nach Göhner) aufgezeigt werden und dann mittels der biomechanischen Prinzipien von Hochmuth im Hinblick auf eine sinnvolle und biomechanisch optimale Bewegungsausführung interpretiert und bewertet werden.

1.1.1 Beitrag der Biomechanik zur Optimierung der sportlichen Technik im Sportkegeln

" Mit der Möglichkeit, die mechanischen Bewegungen im sportlichen Leistungsvollzug zu untersuchen und dabei die biomechanischen Voraussetzungen des Bewegungsapparates, die biologischen Bedingungen des Organismus sowie die äußeren mechanischen Umweltbedingungen zu berücksichtigen, ist die Biomechanik sportlicher Bewegungen in hohem Maße fähig, zur Erhöhung der sportlichen Leistung beizutragen."

(Buchmann, R. 1978, S.456)

So kann man sich an den biomechanisch beschreibbaren Strukturelementen orientieren. Bezogen auf die Sporttechnik beim Sportkegeln richtet sich ihr Beitrag auf:

- Die **Objektivierung** der Technik mit biomechanischen Untersuchungsverfahren
- Ihre kinematische und dynamische Beschreibung durch Kennlinien und Kenngrößen
- Begründung der zweckmäßigsten Technikvariante
- Bestimmung führender Technikmerkmale und Parameter
- Die Ableitung von Anforderungen an Training und Trainingsmittel
- Ermittlung von Schwachstellen in den einzelnen Technikvarianten

Dadurch soll ermöglicht werden, eine spezifische Aufgabenstellung unter Ausnutzung eines Höchstmaßes an inneren und äußeren biomechanischen Voraussetzungen zu lösen. Hierbei verstehen wir unter Optimierung

" die Lösung einer Bewegungsaufgabe unter optimaler Ausnutzung der physischen und technischen Möglichkeiten des Sportlers zur Erreichung hoher sportlicher

Leistungen."

(Donskoi, D.D. 1975, S.286)

So ist die Optimierung der sportlichen Technik eine zielgerichtete Prüfung darauf hin, ob ein Höchstmaß an inneren und äußeren Voraussetzungen auf die bestehende Zielgröße hin ausgenutzt wird.

Als innere Voraussetzungen können im Sportkegeln die gesamte Bewegungsausführung mit Kugel, d.h. das Gehen zur Ausgangsposition der Grundstellung, die Grundstellung, der Auftakt, der Bewegungsbeginn (leichte Beugung-starke Beugung im Hüft-Oberkörper Bereich), die damit verbundene Kugelführung (optimaler Beschleunigungsweg der Kugel), die Schrittgestaltung als meßbarer kinematischer und dynamischer Parameter und die Kugelabgabe gezählt werden. Wobei hier natürlich auch speziell koordinativ-motorische und konditioneile Voraussetzungen, sowie psychische Komponenten mit hineinspielen.

Zu den äußeren Voraussetzungen zählen die Bedingungen der Kegelbahnanlagen, wie Länge der Anlaufbohle, das Kugel- und Kegelmaterial und die Beschaffenheit der Bahnoberfläche.

Weiterhin richtet sich die Optimierung einer sportlichen Technik nach deren Zielfunktion. Im Sportkegeln heißt dies, eine Holzzahl zu erreichen, die gegen ein Maximum strebt. Daraus läßt sich ersehen, wie verzweigt und entsprechend vielschichtig sich die Optimierung des Bewegungsvollzuges bei der Art und Weise der Aufgabenrealisierung darstellt. So kann bei dieser Untersuchung die Biomechanik vorrangig dort zu Optimierung beitragen, wo kinematische Parameter erfaßt und dargestellt werden können.

1.1.1.1 Ausprägung von kinematischen und dynamischen Parametern im Sportkegeln

Hier können Geschwindigkeitsverläufe, Kraftverläufe, Beschleunigungswege der Kugel vektoriell dargestellt werden, um Diskontinuitäten (Geschwindigkeitsverlust der Kugel bei einer bestimmten Führungsweise) aufzuzeigen, die von vornherein als Energieverlust für einen kontinuierlichen Beschleunigungsablauf angesehen werden können.

1.1.1.2 Nutzung der biomechanischen Möglichkeiten des Bewegungsapparates

Durch kinematographische Verfahren lassen sich im Sportkegeln die Schrittweite der einzelnen Schritte erfassen, denn sie haben einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf die Bewegungsdynamik und auf eine möglichst tiefe Körperstellung bei der Kugelabgabe, was sich wiederum vorteilhaft auf die Treffgenauigkeit der Kugel auswirkt.

" Die auf verschiedenen Wegen zu gewinnenden sportlichen Optimierungsergebnisse der Biomechanik sind nicht Selbstzweck, sondern sie wirken praktisch als notwendige Grundlage des Techniktrainings."

(Buchmann, R. 1978, S. 459)

1.2 Zum Handlungsziel des Sportkegelns (nach Steiner 1980)

Das Ziel des Sportkegelns besteht in einer Summation gefallener Kegel, bedingt durch die Zielgenauigkeit, mit der die geschobene Kugel auf eine Gruppe von Kegeln auftrifft. Die höchste Anzahl gefallener Kegel beim Spiel in das volle Bild beträgt neun Kegel. Das Gesamtergebnis wiederum zergliedert sich auf das

Ergebnis des Spiels in die "Vollen" und der "Abräumer".

Die Wettkampfordnung für Männer von 1978 schreibt eine Leistungsstrecke über 200 Wurf zu je 4 Einheiten von 50 Wurf (eine Einheit = 25 Volle und 25 Abräumer) mit einer Zeitvorgabe von 4 x 20 Min. vor.

Bei den Frauen ist die Leistungsstrecke und die Zeitvorgabe nur halb so lang (100 Wurf in 2 x 20 Min.)

Die Genauigkeit mit der die Kugel am Ende ihrer Kugellauflinie auf einen exakt vorher festgelegten Punkt in der Kegelgruppe auftrifft, ist das Resultat einer umfassenden Präzisionsleistung. Sie wird bestimmt von der Zielgenauigkeit mit der die Kugel auf der Auflagebohle aufgelegt wird und somit die Kugellauflinie bildet Voraussetzung dafür ist der koordinierte Bewegungsablauf, der auf das relativ umgrenzte Ziel der Kugelabgabe abgestellt ist.

Die Wahl des Auftreffpunktes ist gleichbedeutend mit einer wiederum programmierten Effektfolge. Er soll so liegen, daß die beim Aufschlagen auf die Kegel entstehenden Kräfte so gerichtet sind, daß auf der einen Seite eine "Kegelfallkette" ausgelöst wird, und andererseits sollte die Kugel so abgelenkt werden, das sie beim Auftreffen auf den zweiten versetzten Kegel eine adäquate Fallkette auf der anderen Seite bildet. Die Geschwindigkeit der Kugel trägt nur bei äußerster Präzision mit der die Kugel auf den vorherbestimmten Auftreffpunkt trifft zu einer Maximierung des Trefferergebnisses bei dagegen nimmt man an, daß der seitliche Drall, mit der die Kugel auf die Kegelgruppe auftrifft, die Kegelfallkette positiv beeinflusst. Genauere wissenschaftliche Untersuchungen darüber gibt es jedoch noch nicht.

Das Sportkegeln zählt somit zu den technischen Sportarten. Die Bewegung ist azyklisch, d.h. in sich geschlossen und durch ein klares Resultat beendet, welches als Teilbetrag in die Gesamtsumme eingeht und somit auch als Einstellungskomponente (psychische Komponente) den weiteren Wettkampfverlauf beeinflusst. Die Bewegungshandlung ist, und dies in extremer Ausprägung, stereotyp, d.h. ihr Gelingen hängt unter Eingrenzung beinahe aller Freiheitsgrade von einem exakt gleich ablaufenden, sich stets wiederholenden Bewegungsmuster ab. Voraussetzung für die Konstanz und somit die Summation zur Gesamtleistung ist die Automatisierung der Feinstkoordination, wobei korrektive Maßnahmen mehr in den Pausen als bei den Würfeln durchgeführt werden.

Es wird deutlich, daß die Zielstruktur des Sportkegelns nicht nur in der Präzisionsleistung einzelner weniger Würfe liegt, sondern in der Aufrechterhaltung der Präzisionsleistung über den gesamten phasengliederten Wettkampfverlauf hin. Dies führt dazu, daß von der Bewegungsausführung eine gewisse Ökonomie in Bezug auf Kräfteeinteilung über den gesamten Wettkampfverlauf bei der Anlaufgeschwindigkeit und der Kugelgeschwindigkeit gefordert werden muß.

1.3 Bisheriger Forschungsstand zur sportlichen Technik des Sportkegelns

Eine veröffentlichte biomechanische Untersuchung, die sich in Richtung Handlungsstruktur mit der sportlichen Technik des Sportkegelns befaßt, gibt es nach einer Anfrage bei der Zentralbibliothek der Deutschen Sporthochschule in Köln vom August 1982 und der nochmaligen

Durchsicht der gesamten Sportdokumentationen nicht. So kann lediglich auf Literatur zurückgegriffen werden, die im Zusammenhang mit einer Vielzahl von Unterhaltungsspielen zum Gesellschaftskegeln auf eine kurze, meist recht unvollständige Bewegungsbeschreibung nicht verzichten will. Hierbei wird vom rein phänographischen Erscheinungsbild der Bewegung ausgegangen, **jedoch** ohne den Versuch einer wissenschaftlichen Erklärung der beobachtbaren Handlungen zu machen. So kann es denn auch nicht verwundern, wenn bei der Durchsicht der vorhandenen Literatur auch kein einheitliches Bild der Technikbeschreibung des Sportkegelns gefunden werden kann.

Nach Durchsicht der Literatur können bisher folgende beschriebene Kegeltechnikausführungen festgehalten werden:

- Der damalige Bundestrainer Grohmann, G. hat für den Deutschen Keglerbund für das Lehrwesen Asphalt eine Bewegungsbeschreibung angefertigt, die sich in Grundstellung, anschließende Schrittfolge und Schlußhaltung gliedert. Als Standort des Keglers zu Beginn der Bewegung in der Grundstellung auf der Anlaufbohle gibt er je nach Größe des Spielers 0,5 - 1 m vom Ende der Anlaufbohle an. Der Kegler sollte sich dabei, je nach Schulterbreite des Spielers, bis zu einem fußbreit auf der Auflagebohle befinden. Grohmann schlägt dazu eine parallele Fußstellung vor. Die Körperhaltung sollte aufrecht bis leicht gebeugt sein, die Kugel sollte am ausgestreckten Spielarm seitlich herunterhängend neben dem Körper gehalten werden. Die Gesamtbewegung wird durch den Auftakt (leichtes Anheben des Spielarmes) eingeleitet.

Der Anlauf gliedert sich in drei **Schritte**, wobei der erste Schritt klein, der zweite Schritt mittel und der dritte Schritt groß sein soll. Die Gesamtbewegung wird nach der Kugelabgabe, die während des dritten Schrittes vollzogen wird durch einen zusätzlichen vierten Schritt abfangen, d. h. abgebremst. Bei der gesamten Bewegung sollen die Schultern waagrecht geführt werden, die Körperhaltung ist insgesamt gebeugt, der Gegenspielarm dient der Balance. (vgl. Grohmann, G. 1976)

- In Steiners Handlungsstruktur werden die einzelnen Bewegungsabschnitte nur kurz genannt, ohne nähere Erläuterung. So beschränkt er sich darauf, die einzelnen Teilaspekte der Bewegung aus morphologischer Sicht zu nennen. Dies wären: Grundstellung, Auftakt mit Anheben der Kugel und gleichzeitigem Vorführen des Spielarmes, dem Drei-Schritte-Anlauf, der Kugelabgabe und dem Aufrichten durch den Abfangschritt. (vgl. Steiner, H. 1980)
- Gautier liefert die ausführlichste Bewegungsbeschreibung. Auch er hat die Einteilung in Grundstellung (welche der Ausführung von Grohmann gleicht, dazu s.o.), Auftakt (leichtes Nach-Vorne-Schwingen des Spielarmes), den Drei-Schritte-Anlauf mit dem nachfolgenden tief gebeugten Abfangschritt (neuere Bezeichnung für Abfangschritt). Bei dem Drei-Schritte-Anlauf sollte der erste Schritt klein, der zweite Schritt mittel und der dritte Schritt lang sein. Der Rechtshänder beginnt den Drei-Schritte-Anlauf mit dem Vorsetzen des linken Fußes, dabei neigt sich der Oberkörper nach vorne; der Spielarm wird nach dem Auftakt eng am Körper vorbei nach hinten geführt. Beim zweiten Schritt wird das rechte Bein nach vorne geführt, der Spielarm ist nun nach hinten geführt, der

Oberkörper geht weiter nach vorne. Beim dritten Schritt wird die Kugel möglichst weich aufgesetzt und die Abwärtsbewegung des Oberkörpers wird weiter fortgesetzt.

Darüber hinaus gibt Gautier noch weitere zusätzliche Informationen für den Kegler, die es ihm ermöglichen sollen, eine exaktere Bewegungsausführung durchführen zu können. Z.B. soll die Kugel über einen gedachten Fixierpunkt, der sich am Ende der Auflagebohle befindet, gespielt werden.

Beim dritten Schritt sollte der Oberkörper fast den rechten Oberschenkel berühren, zur Kugelabgabe gibt er den kinästhetischen Hinweis, daß die Kugel weich in der Mitte der Auflagebohle vor dem linken Fuß aufgesetzt werden soll, um so auch ein langes Nachführen der Kugel zu gewährleisten. Während der Kugelabgabe sollte der Spielarm andauernd durchgestreckt sein, und der Aufgangsschritt soll in Laufrichtung fortgesetzt werden. Weiterhin gibt er Tips wie die Kugel gehalten werden soll. In der Grundstellung soll der Spielarm gestreckt sein, die Kugel kann so mit oder ohne Unterstützung des Gegenarmes gehalten werden. In der Abwurfphase sollte sich die Hand des Keglens direkt hinter der Kugel befinden. (vgl. Gautier, R. 1978)

- Rehling hat in der Nachfolgeausgabe von Gautier die Bewegungsbeschreibung etwas gekürzt übernommen er beschränkt sich auf die Einteilung des Handlungsvollzuges in Grundstellung, Auftakt, Drei-Schritte-Anlauf und Aufgangsschritt. In seiner Bewegungsbeschreibung lehnt er sich stark an Gautier an. (vgl. Rehling, D. 1981)
- Haas hat den sogenannten "Bergmann-Stil" beschrieben, der in einigen wesentlichen Punkten von der Ausführungsart der zuvor beschriebenen Techniken

abweicht.

Zuerst diskutiert er die Vor- bzw. Nachteile der zwei Möglichkeiten, die Kugel zu halten (im Handteller - mit den Fingern). Der Standort in der Grundstellung wird hier für alle gleich festgelegt. Er befindet sich am Anfang der Auflagebohle. Die Trennaht zwischen Auflagebohle und Anlaufbohle sollte sich in der Mitte zwischen beiden Füßen befinden. Die Fersen sind geschlossen, die Zehen leicht gespreizt (keine parallele Fußstellung). Die Kugel wird vor dem (bei Rechtshändern) rechten Oberschenkel am gestreckten bis leicht angewinkelten Spielarm gehalten.

Auch Haas beschreibt einen Drei-Schritte-Anlauf, jedoch ohne Auftaktbewegung des Spielarmes. Der Kegler läuft so an der herabhängenden Kugel vorbei. Der erste Schritt hat normale Länge, der zweite Schritt ist im Vergleich zum ersten Schritt etwas kürzer oder aber höchstens gleich lang, der Oberkörper beugt sich nach vorne, der Spieler knickt in den Knien leicht ein. Der Kegler orientiert sich während des Anlaufes an der Naht zwischen Auflagebohle und Anlaufbohle, um einen geradlinigen Anlauf zu erhalten. Der dritte Schritt ist wesentlich länger als der erste oder zweite Schritt. Der Spielarm wird so geführt, daß die Kugel über den Fixierpunkt (gedachte Mitte der Auflagebohle) so weit wie möglich am Ende der Auflagebohle nach vorne gebracht wird. Dem Ausklang der Bewegung durch einen Auffangschritt wird hier keine konkrete Form zugewiesen. (vgl. Haas, H. 1974)

Aus dem angeführten Informationsmaterial über die Techniken im Sportkegeln ist somit ersichtlich, daß man selbst bei einer Grobgliederung des gesamten

Bewegungsablaufes in Grundstellung, Auftakt, Drei-Schritte-Anlauf und Aufgangsschritt keine einheitlichen Bewegungsausführungen vorfindet, die eine exakte Ausführung und Korrektur in der Praxis ermöglichen würden.

Mit dieser Pilotstudie soll ein Beitrag dazu geleistet werden, um hier etwas mehr Klarheit zu verschaffen. Es soll die Bewegung nicht nur aus phänographischen Gesichtspunkten beschrieben werden, sondern mit Hilfe der biomechanischen Untersuchung und deren Ergebnissen sollen allgemeingültige Aussagen im Rahmen der durch die Untersuchung gegebenen Möglichkeiten gemacht werden.

Es sollen hier mit dieser kinematographischen Aufnahmereihe zwei verschiedene Bewegungsabläufe im Sportkegeln mit Auftaktbewegung analysiert und anschließend miteinander verglichen werden.

2. Untersuchungsmethode

2.1 Photographische Aufnahmeverfahren

Soll die menschliche Bewegung kinematisch analysiert werden, so wird die Erfassung von Raum- und Zeitparametern erforderlich.

"Die Anwendung photographischer Methoden bringt es mit sich, daß außer dem photographisch abgebildeten räumlichen Verlauf auch eine möglichst genau definierte und eindeutig zugeordnete Erfassung des zeitlichen Ablaufs vorgenommen wird."

(Gutewort, W./Töpfer, D. 1968, S.812)

Welcher Weg auch dazu nun eingeschlagen wird, es ist immer erforderlich die kontinuierliche Gesamtbewegung

in einzelne Meßschritte zu unterteilen. Je kleiner hierbei die Meßschritte bei der zeitlichen Quantelung gewählt werden können, desto näher kommt man an eine adäquate Widerspiegelung des tatsächlichen Bewegungsverlaufes heran, d.h. die physikalisch gemessenen Weg-Zeit Intervalle gleichen um so mehr den tatsächlichen mathematischen Weg-Zeit Differenzen, (vgl. Gutewort, W./Töpfer, D. 1968)

2.1.1 Serienphotographie contra Chronophotographie

Zum einen läßt sich die Auflösung der kontinuierlichen Bewegung in einzelne konstante Meßschritte durch eine Serie von Momentphotographien auf wechselndem Aufnahmehaterial erreichen. Diese Serienphotographie erhält man am besten durch Filmaufnahmen einer Bewegung. Hierbei müssen bei der Auswertung der Momentphotographieserien, sprich Film, die zeitlich aufeinanderfolgenden Einzelabbildungen **übereinanderprojiziert** werden. Hierdurch können bei nicht völlig deckungsgleicher Abbildung der einzelnen Momentphotographien Meßwertverfälschungen eintreten, zudem ist der erforderliche Zeitaufwand zur Übereinanderprojizierung der Einzelaufnahmen recht hoch. Weiterhin besteht das Problem der Meßzeitintervallkonstanz, da aus der angegebenen Kamerafrequenz des Herstellers keine ausreichende Zeitinformation gewonnen werden kann, da Schwankungen der Kamerafrequenz von bis zu **+ 15** Bildern/sec. gemessen wurden. (vgl. Gutewort, W./Töpfer, D. 1968)

Ein weiteres kinematographisch.es Aufnahme verfahren arbeitet nach dem Prinzip der Mehrfachbelichtung ein und desselben Photomaterials, auf dem alle Phasen der aufzunehmenden Bewegung auf einem Bild

festgehalten werden. So wird hier mit der photographischen Wiedergabe des zurückgelegten Weges die Zeitinformation automatisch mit festgehalten. Dies geschieht, indem die Bewegung sukzessiv in zeitlich konstant definierten Meßzeltdifferentialen dt mehrfach auf das gleiche Filmnegativ durch kurzzeitiges Belichten abgebildet wird. Bei dieser Chrono-Zyklo-Photographie sind die Nachteile, die uns von der Filmauswertung bekannt sind, nicht vorhanden. Es treten aber zwei andere Nachteile auf; nämlich daß der Hintergrund sehr dunkel sein muß (möglichst schwarz) und daß sich bewegende **Objekt** möglichst sehr hell (weiß) gekennzeichnet sein muß, um dadurch einen guten Kontrast (hell-dunkel) für die Auswertung zu erhalten. Es ist weiterhin zu beachten, daß diese Untersuchungsmethode nur auf translatorische Bewegungen ohne Rotationen um die Körperlängsachsen einsetzbar ist.

2.1.2 Zum meßtechnischen Wert photographisch gespeicherter Information von Bewegungsabläufen (nach Gutewort, W. 1969)

Der meßtechnische Wert von photographisch gespeicherter Information ist im wesentlichen von der Raum- und Zeitauflösung abhängig. So muß die Bildwechselzeit oder anders ausgedrückt der Meßsignalabstand t_w unbedingt größer sein als die Belichtungszeit oder Meßsignaldauer t_b , da sonst die Bewegungsunschärfe größer wäre als die Ortsveränderung eines Bildpunktes während des Meßsignalabstandes.

So stellt das Verhältnis Meßsignalabstand zu Meßsignaldauer:

$$\frac{t_w}{t_b} > 1$$

das erste Gütekriterium für den meßtechnischen Wert photographisch gespeicherter Information dar.

Für eine vergleichende Bewertung einzelner photographischer Meßverfahren bedarf es noch der Zeitauflösung und damit der Zeitinformation I_t . Sie ist der Bildwechselfrequenz f_w und der Phasendarstellung t_b proportional:

$$I_t = f_w \cdot \frac{t_w}{t_b}$$

Die Raumauflösung ergibt sich dann aus der Zahl der unterscheidbaren und ausmeßbaren Bildpunkte. Die Rauminformation I_r ist:

$$I_r = \frac{F}{(\Delta s')^2} \approx F \cdot n^2$$

wobei: F = Bildfläche, $\Delta s'$ = kleinste in Bewegungsrichtung noch zu messende Strecke, n » Anzahl der in mm auflösbaren Striche.

Die gespeicherte Gesamtinformation ergibt sich aus:

$$I = I_t \cdot I_r = f_w \cdot \frac{t_w}{t_b} \cdot \frac{F}{(\Delta s')^2}$$

" Der Informationsgehalt eines photographisch registrierten und gespeicherten Modells der Bewegung wird also um so größer, je größer die Aufnahme-
fläche ist, je größer die Anzahl der in Bewegungs-
richtung zu unterscheidenden Bildpunkte, d. h. also
das Auflösungsvermögen ist, je mehr Informationen
in einer Zeiteinheit registriert werden können.
D. h. je kleiner die Meßzeitintervalle gewählt
werden können und je günstiger das Verhältnis
von Meßsignalabstand zu Meßsignaldauer gestaltet
werden kann." (Gutewort, W. 1969, S. 445)

Auf Grund dieses Zusammenhanges läßt sich leicht ersehen, daß der meßtechnische Wert der Chrono-Zyklo-Photographie hier durch größeres Bildformat und weitaus besserer Zeitinformation höher ist als der der Serienphotographie, und somit neben den anderen Vorteilen, die die Chrono-Zyklo-Photographie gegenüber der Filmaufnahme aufzuweisen hat, ihr der Vorrang gegeben wurde.

2.2 Chrono-Zyklo-Photographie

2.2.1 Theoretische Vorüberlegungen

"Das Prinzip der Chrono-Zyklo-Photographie beruht darauf, daß die Bewegung eines Körpers in bestimmten konstanten Zeitdifferentialen dt mehrfach auf das gleiche Filmnegativ durch kurzzeitiges Belichten abgebildet wird." (Hochmuth, G. 1981, S.125)

Dies wird dadurch erreicht, daß man mit Hilfe einer Spiegelreflexkamera vor deren Objektiv eine Schlitzscheibe mit konstanter Frequenz rotiert die Bewegung aufgenommen wird.

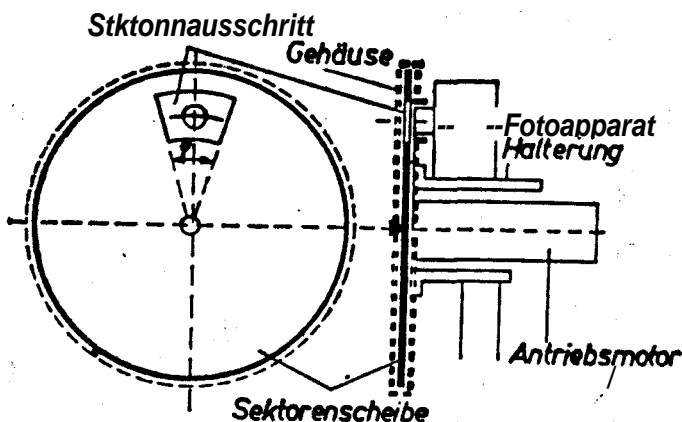


Abb.1

Funktionsschema
des Chrono-
Zyklo-Photo-
apparates

(nach Hochmuth, G.
1981, S.126)

Dadurch bekommt man eine Photographie, die bereits das gewünschte Kinegramm enthält und zudem äußerst genau ist. Im Gegensatz zum Zeichenkinegramm aus der Einzelbildprojektion der Filmaufnahmen spricht man hier von Chrono-Zyklogramm.

2.2.1.1 Belichtungszeit und Rotationsgeschwindigkeit des Rotors (nach Hochmuth, G. 1981)

Besitzt der Schlitz in der rotierenden Scheibe die Form eines Kreissektors (Sektorblende), so läßt sich die Einzelbelichtungszeit als Meßsignaldauer wie folgt berechnen:

$$t_D = \frac{\varphi}{360 \cdot f} \quad \text{in (s)}$$

φ - Sektorwinkel in ($^\circ$)
f = Phasendarstellung
oder Frequenz in ($\frac{1}{s}$)

Aus obiger Gleichung ist zu ersehen, daß die Belichtungszeit vom Sektorwinkel und von der Frequenz abhängig ist. Zweckmäßigerweise sollte man die Scheibe so konstruieren, daß der Sektorausschnitt gemäß der Frequenz verstellbar ist, um eine genügend kurze Meßsignaldauer, die an die Schnelligkeit der Bewegung und an veränderte Lichtverhältnisse angepaßt werden kann, erreicht wird. Damit bleibt bei der Aufnahme die Abbildungsschärfe auf der Photoplatte erhalten. Dies läßt sich, wie die Praxis nun gezeigt hat, nicht ohne weiteres bewerkstelligen. So ist es z.B. ratsam bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von ca. $15 \frac{m}{s}$ und mehr, die Meßsignaldauer t_D kleiner als $\frac{1}{50}$ s zu wählen, um ein scharfes Bild zu erhalten. Außerdem läßt sich natürlich zu der gewählten Belichtungszeit, der vorhandenen Helligkeit und der Empfindlichkeit des verwendeten Filmmaterialies

auch der einzustellende Blendenwert am Objektiv bestimmen.

Das Messen der Frequenz der Rotorscheibe erfolgt durch eine Probeaufnahme mit einer fest eingestellten Meßsignaldauer von 1 s und anschließendem Auszählen der einzelnen Abbildungen.

Eine andere, etwas aufwendigere Meßmethode erfolgt auf elektrischem Wege. Zu diesem Zweck ist auf der rotierenden Schlitzscheibe ein kleiner Dauermagnet mit relativ großer Magnetfeldstärke und am unteren Teil des Gehäuses eine mit Kern versehene Induktionsspule angebracht. In der Induktionsspule wird immer dann eine Spannung induziert, wenn der Magnet sich an ihr vorbeibewegt, die Spannungstöße werden mit Hilfe eines Oszillographen registriert und mit einer Meßfrequenz verglichen.

Im Gegensatz zu einer Filmkamera kann man mit einer gut ausgewuchteten Rotorscheibe eine bedeutend höhere Laufkonstanz erreichen, weil hier im Gegensatz zur Filmaufnahme der Filmtransport entfällt.

2.2.1.2 Zur Bestimmung des Zeitdifferentials dt, des Wegdifferentials ds und der Geschwindigkeit v (nach Hochmuth, G. 1981)

Um zu garantieren, daß während der Aufnahmezeit, in der der Verschuß der Kamera geöffnet bleiben muß, kein Streulicht zur Seite einfällt, muß um die Lichteintrittsöffnung der Sektorblende ein lichtundurchlässiges Gehäuse angebracht werden. Zentrisch zur optischen Achse besitzt nun dieses Gehäuse auf beiden Seiten eine Kreisöffnung, deren Durchmesser sich aus dem Öffnungswinkel der Optik ergibt. Auf die hintere Öffnung dieses Gehäuses wird noch ein Kranz gesetzt,

der die **Objektivöffnung** sowohl gegen seitliches wie hinteres Streulicht schützt und auch noch die notwendige Verschiebung der Kamera in Richtung ihrer Längsachse zur genauen Entfernungseinstellung erlaubt. Bei starrer Kameraeinstellung in Richtung auf den Bewegungsablauf, eingestellter Objektivblende und geöffnetem Kameraverschluß wird nun **jeweils** bei Freigabe des Blickfeldes durch den Sektorausschnitt der rotierenden Rotorblende das sich bewegende **Objekt** auf dem Filmnegativ abgebildet. Nach jedem Zeitdifferential dt wiederholt sich dieser Abbildungsvorgang, Das Objekt hat sich in dieser Zeit, in der die Objektivöffnung der Kamera durch die Rotorblende verdeckt ist, je nach seiner Geschwindigkeit um ein bestimmtes Wegdifferential ds weiterbewegt, d.h. die Abbildungsstelle auf dem Filmnegativ befindet sich in einer maßstäblichen Entfernung zur realen Wegdifferenz.

Unter Berücksichtigung der Maßstabsverhältnisse von wirklicher und abgebildeter Wegänderung auf dem Filmnegativ läßt sich die Geschwindigkeit nach:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad \text{in } \left(\frac{m}{s}\right) \quad \text{ermitteln.}$$

Es handelt sich hier nicht um unendlich kleine Weg- und Zeitelemente, sondern um physikalische Differentiale mit endlichen Werten. Infolgedessen wird hier eine mittlere Geschwindigkeit während der Zeitdifferenz dt zwischen zwei Belichtungen gemessen. So weicht diese mittlere Geschwindigkeit nur wenig von der momentanen ab, wenn das Zeitelement dt sehr klein gehalten werden kann. Dem sind jedoch Grenzen gesetzt, da sich die einzelnen Objektabbildungen möglichst nicht überlagern sollten, um das Photomaterial auswerten zu können. Nun muß noch geklärt werden, wie man dt messen kann.

Bei konstanter, bekannter Frequenz f ergibt sich für m Sektoren, die auf der Rotorscheibe gleichmäßig verteilt sind:

$$dt = \frac{1}{mf} \quad \text{in (s)}$$

Um bei der Vielfalt der sportlichen Bewegungen das erforderliche Zeitelement dt so einstellen zu können, daß man keine Überlagerungen in der Objektabbildung erhält, empfiehlt es sich die Rotorscheibe so zu bauen, daß sich die Anzahl der Sektoren und die Frequenz der rotierenden Scheibe verändern lassen. Das richtige Zeitelement dt und die dazugehörige Frequenz lassen sich wie folgt überschlägig berechnen:

$$dt = \frac{ds_{\text{Objekt}}}{v_{\text{Bahn}}}$$

ds_0 : Objektbreite in Bewegungsrichtung, zusätzlich eines Betrages für die gewünschten Lücken zwischen zwei Abbildungen

v_{Bahn} : Bahngeschwindigkeit des Objektes

Daraus folgt für die Frequenz der Rotorblende:

$$f = \frac{v_{\text{Bahn}}}{m ds_{\text{Objekt}}}$$

Diese Rechnung läßt sich auch nur auf geradlinige Translationen anwenden.

2.2.1.3 .Zur Versuchsperson

Um ein gutes Bild zu erhalten, ist es notwendig, wie schon erwähnt, einen guten Kontrast zwischen Hintergrund und Versuchsperson zu schaffen. Weiterhin ist es erforderlich durch genaue Meßpunktmarkierung an den wichtigsten Stellen der Versuchsperson die Meßgenauigkeit zu erhöhen und somit das photographisch registrierte Objekt zu verkleinern. Dies läßt sich

am einfachsten durch weiße Markierungsstreifen, die an der vollkommen schwarz angezogenen **Versuchsperson** angebracht werden, erreichen. Schafft man nun noch einen schwarzen Hintergrund, so entfällt einmal das bei hellem Hintergrund entstehende Problem der mehrfachen Hintergrundabbildung, was zu einer Überbelichtung des Photomaterials führen würde, und zum anderen löst sich die Versuchsperson auf Grund des schwarzen Hintergrundes zugunsten der Markierungsstreifen in der Aufnahme auf.

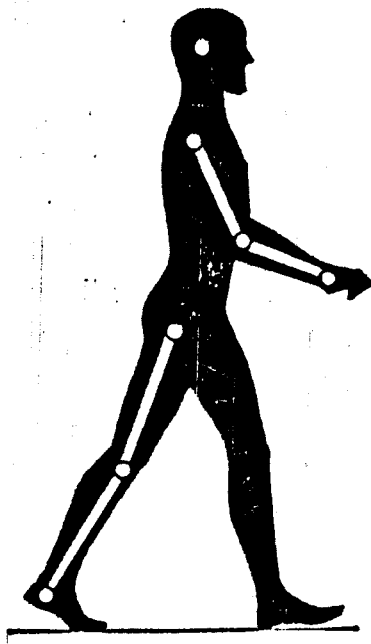


Abb. 2

Schwarze Kleidung und weiße Markierungen der Körperpunkte und Körperteillängsachsen für die Chrono-Zylo-Aufnahme (nach Hochmuth, G. 1981, S.128)

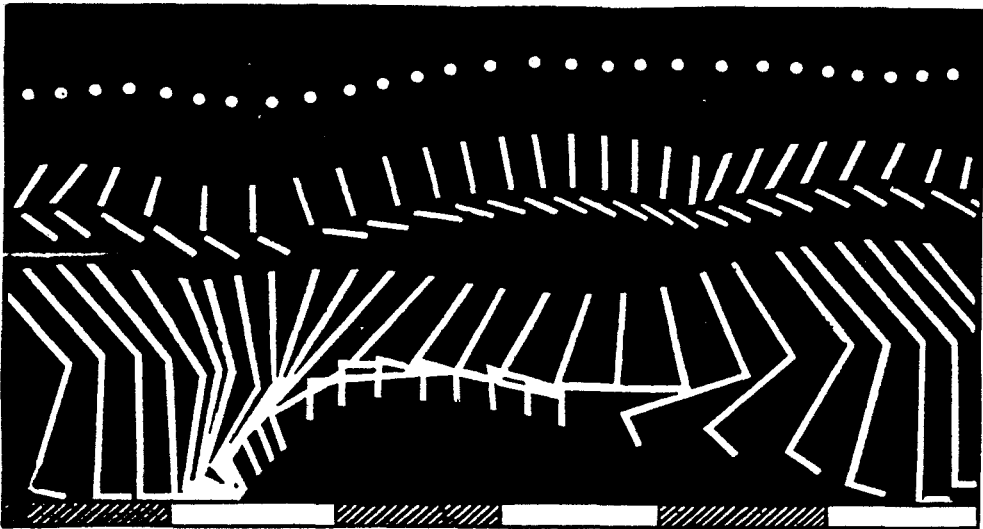


Abb. 3
Chronogramm des Laufes (nach Donskoi, D.D. 1975, S.22)

2.2.1.4- Zur Meßgenauigkeit

Ein unbefriedigender Punkt bleibt derjenige, daß sich die Aufnahme­frequenz f nicht beliebig verkleinern lassen kann, da sich sonst sogar die Meßpunkt­markierungen auf dem Bild bei der Versuchsperson in den einzelnen Phasen der Bewegung überlagern, und zum anderen ist das Verhältnis Meßsignalabstand zu Meßsignal­dauer recht ungünstig. Ist m die Anzahl der Sektorenausschnitte auf der Scheibe und φ ihr Winkel, so gilt:

$$\frac{t_w}{t_b} = \frac{360}{n \cdot \varphi}$$

(vgl. Gutewort, W. 1969)

"Die Meßgenauigkeit ist somit durch das Verhältnis des Öffnungswinkels der Umlaufblende zum Vollkreis beschränkt." (Gutewort, W. 1969, S.446)

Nehmen wir an, daß sich die Meßpunktmarkierung der Kugel bei der Bewegung des Sportkeglers im Anfangsbereich mit der Geschwindigkeit von ca. $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bewegt, die Rotorblende sich mit einer Frequenz von $16 \frac{\text{U}}{\text{s}}$ dreht und der Winkel des einen Sektorausschnittes mit 22° so bemessen ist, daß es bei der angegebenen Frequenz eine Meßsignaldauer von $\frac{1}{260} \text{ s}$ ergibt. So hat sich der betrachtete Punkt von Beginn der Belichtungszeit bis zum Beginn der nächsten Belichtungszeit um ca. 0,125 m fortbewegt. Während der Belichtungszeit legt er einen Weg von 0,0076 m zurück. Daraus resultiert ein Meßfehler von 6,1 %, der bedingt durch das Verhältnis von Öffnungswinkel des Sektorenausschnittes zum Vollkreis bei nur einem Sektorenausschnitt nicht zu umgehen ist.

3. Versuchsanordnung

3.1 Bau der Rotorblende I

3.1.1 Materialliste

Zum Bau der Rotorblende wurde folgendes Material verwandt:

1	Spanplatte, Stärke 10 mm	Grundplatte	400 mm x 260 mm
2	Spanplatten, Stärke 10 mm	Seitenplatten	150 mm x 330 mm
1	Spanplatte, Stärke 10 mm	Frontplatte	380 mm x 330 mm
1	Spanplatte, Stärke 10 mm	Blendschutz	320 mm x 310 mm
1	Spanplatte, Stärke 10 mm	Standplatte für Kamera	350 mm x 150 mm

1 Sperrholzplatte, Stärke 5 nun Abdeckung 320 mm x 310 mm
für Blend-
schutz

1 Abdecktuch

1 Papprohr 50 mm lang, Innendurchmesser 75 mm

1 Kurzschlußmotor 220 V/24 W

1 Abdeckhaube für den Motor

1 Kabel 3 m und ein Stecker

1 Ein- und Ausschalter

1 Aluminiumscheibe, Durchmesser 280 mm, Stärke 2 mm,
Sektorenausschnitt von 38°

1 Anschlußteil für die Aluminiumscheibe am Motor
(hohlgebohrte Schraube)

Nägeln, Holzleim, Schrauben

Die Seitenteile sind mit der Grund- und Frontplatte
verleimt und vernagelt. Bei der Frontplatte müssen
mehrere Löcher gebohrt (gesägt) werden:

1 Loch für die Motorachse

2 Löcher für die Motorhalterung

1 Loch für den **Objektivsichtkranz** (Papprohr) mit
einem Durchmesser von 80 mm

Die Höhe der einzelnen Löcher richtet sich nach dem
Durchmesser der Aluminiumscheibe, nach der Kamerahöhe
und dem Objektivdurchmesser. Das Papprohr wird dann
als Schutz gegen seitlich einfallendes Streulicht
in die Objektivöffnung der Frontplatte eingeleimt.
Als Blendschutz für die Rotorscheibe wird aus einer
Spanplatte (s.o.) ein Kreis ausgeschnitten, der im
Durchmesser 2-3 mm mehr beträgt als der Durchmesser
der Rotorscheibe. Diese Spanplatte wird nun an der
Frontplatte angebracht und die Rotorscheibe nun
so am vorher angebrachten Motor befestigt, daß sie
in dem Kreisausschnitt der auf der Frontplatte ange-
brachten Spanplatte versenkt werden kann. Anschließend

wird alles schwarz lackiert, um Blendeffekte auszuschließen.

3.1.1.1 .Zur Rotorscheibe

Die Rotorscheibe von 280 mm Durchmesser wird aus einer größeren Aluminiumplatte ausgesägt. Wichtig dabei ist, daß die Scheibe anschließend ganz rund gemacht wird (Aluminiumscheibe rund schleifen, besser ist abdrehen). Danach wird das Loch für die Motorhalterung gebohrt.

Dann wird der Sektorausschnitt ausgesägt (hier 38°). Der ausgeschnittene Sektorausschnitt wird halbiert und kann so gut als Auswuchtgewicht auf der Rückseite der Aluminiumscheibe aufgeklebt werden. Nun wird die Scheibe ganz gründlich ausgewuchtet und eventuell nochmals gerundet, da eine schlecht gewuchtete Scheibe bei diesen Drehzahlen (hier bei diesem Motor $45 \frac{U}{s}$) sonst zu starke Vibrationen hervorrufen würde und dies die Bildqualität erheblich verschlechtern würde (Unschärfe).

3.1.1.2 Zum Motor

Es handelt sich hier um einen Kurzschlußmotor, der eine errechnete Frequenz von $50 \frac{U}{s}$ (theoretisch) aufweist. Diese Frequenz wird durch Reibungsverluste und durch das Gewicht der Aluminiumscheibe zwar unter Belastung auf $45 \frac{U}{s}$ gesenkt; diese Drehzahl kann aber durch die Bauartbedingtheit dieser Motoren als konstant angesehen werden. Die Umdrehungszahl von $45 \frac{U}{s}$ entspricht bei einem Sektorenausschnittswinkel von 38° einer Meßsignaldauer von $\frac{1}{426,7} s$. Diese Frequenz f wurde durch mehrere Probedbilder

bei Belichtung des Aufnahmematerials von 1 s und anschließendem Auszählen der Meßpunktmarkierungen ermittelt. Die Aluminiumscheibe wurde mittels Kontermutter auf der hohlgebohrten Schraube befestigt und dann mit einem Spezialkleber auf der Motorachse aufgeklebt.

3.2 Untersuchungsvorbereitungen und Untersuchungs- durchführung

Die Aufnahmen erfolgten alle auf Bahnanlagen, die mit mindestens vier Asphalt-Kegelbahnen ausgestattet waren (wegen des erforderlichen Abstandes von der Versuchsperson zur Kameraoptik).

Die Aufnahmen wurden mit einer Minolta Spiegelreflexkamera (XD-7), einem 2,8/24 mm Weitwinkelobjektiv und einem 1,4/50 mm Normalobjektiv gemacht. Auf Grund der bestehenden Lichtverhältnisse und der Verwendung von unterschiedlichem Filmmaterial wurde mit verschiedenen Blendenöffnungen gearbeitet.

Wie in der theoretischen Testgrundlage beschrieben wurde, war die Versuchsperson von Kopf bis Fuß schwarz gekleidet, und als Hintergrund für die Gesamtbewegung war eine Tapete (5,5 m x 2 m) angefertigt und schwarz gestrichen worden. An diesem Hintergrund wurde ein Höhen- sowie ein Längenmaßstab angebracht, um bei der Auswertung des Bildmaterials konkrete Anhaltspunkte zu besitzen. Der auswertbare Maßstab bleibt auch bei den Aufnahmen mit dem 24 mm Weitwinkelobjektiv erhalten, da er ja auch "mitverzerrt" wird.

Die Meßpunktmarkierungen (weißer Tesastreifen) wurden anfänglich von Aufnahmeserie zu Aufnahmeserie geändert. Die Versuchsperson wurde zusätzlich zur vorhandenen Deckenbeleuchtung anfangs mit 2000 W, ab der zweiten

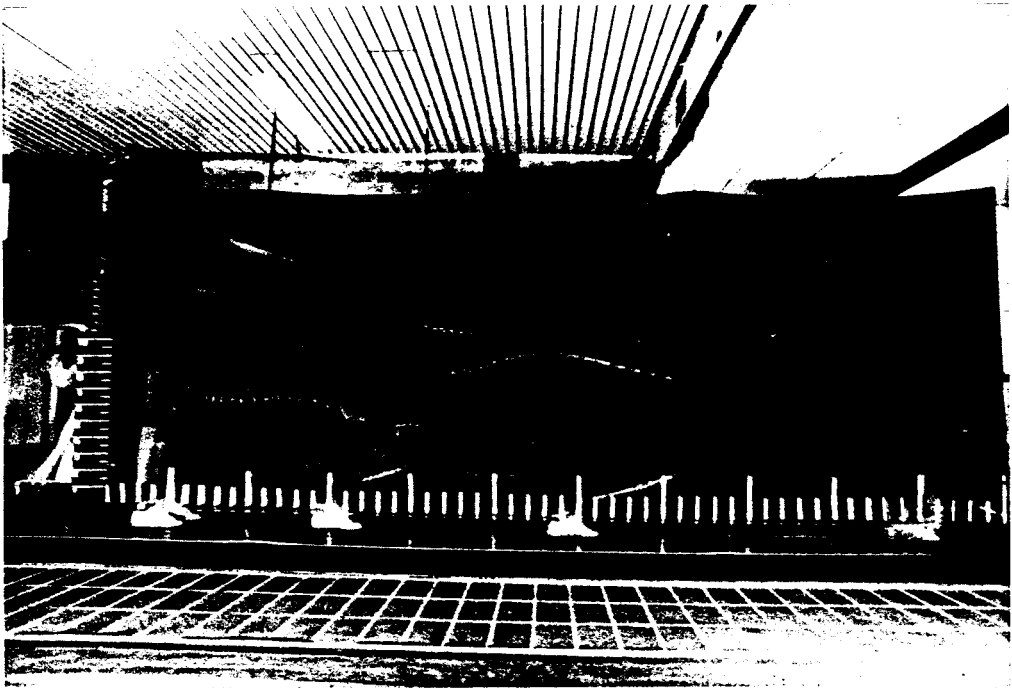
Aufnahmeserie dann mit nochmals zusätzlich 1000 W angestrahlt. Der Kameraverschluß wurde kurz vor Beginn der Bewegung geöffnet und nach der Kugelabgabe wieder geschlossen. Die Versuchspersonen waren alle Sportkegler, die aber alle einen unterschiedlichen Leistungsstand aufwiesen (vom Landesklassenspieler bis zum Nationalspieler).

3.2.1 Erste Aufnahmeserie

Um bei der ersten Aufnahmeserie erst einmal einen Gesamtüberblick über die Möglichkeiten zu erhalten, die einem das Verfahren der Chrono-Zyklo-Photographie bieten können, wurden bei der Versuchsperson sehr viele Meßpunktmarkierungen angebracht: Kopf, rechter Schultergürtel, rechter Oberarm, rechter Unterarm, rechter Oberschenkel außen, rechter Unterschenkel außen, rechtes Fußgelenk außen, linker Oberschenkel innen, linker Unterschenkel innen, linkes Fußgelenk innen. Es zeigte sich, daß hier zu viele Überlagerungen der Meßpunktmarkierungen erfolgten, so daß dies bei der nächsten Aufnahmeserie geändert werden mußte. Es wurde ein schwarz-weiß Negativfilm mit 27 Din und das 24 mm Weitwinkelobjektiv mit Blende 4 benutzt. Da die Bilder durch Vibrationen der Rotorblende recht unscharf waren, wurde die Rotorscheibe nochmals ausgewuchtet und die Kameraauflageplatte in Gummi gelagert, sowie die Motoraufhängung neu gestaltet. Die Frequenz der Rotorscheibe betrug wie angegeben $45 \frac{11}{s}$.

Abb.4

Erste Aufnahmeserie wie im Text beschrieben



3.2.2 Zweite Aufnahmeserie

An der Versuchsperson wurden jetzt verschiedene Meßpunktmarkierungsgruppen ausprobiert: Kopf, rechte Schulter, rechter Ober- und Unterarm außen, Kugel und Hüfte. Eine weitere Meßpunktmarkierungsgruppe waren: Kopf, rechter Ober- und Unterarm außen, Kugel und rechter Ober- und Unterschenkel außen. Hier wurden neben den weißen Meßpunktmarkierungen auch versuchsweise gelbe und blaue genommen, die sich aber nicht bewährt haben. Die dritte Meßpunktmarkierungsgruppe bestand aus: Kopf, rechter Schulter, Hüfte, Kugel und rechtem Ober- und Unterschenkel. Nach dem Auswerten der Bilder zeigte sich deutlich, daß vor allen Dingen der Spiel-

arm, die Kugel und der Kopf für eine auswertbare Informationsquelle der Bewegung am wichtigsten sind, und dementsprechend markiert werden müssen,, Durch Hinzunahme einer weiteren 1000 W Lampe und Verwendung eines weniger empfindlichen Diafilmes mit 24 Din bei Blende 2,8, zeigte sich eine deutliche Überbelichtung der Diapositive.

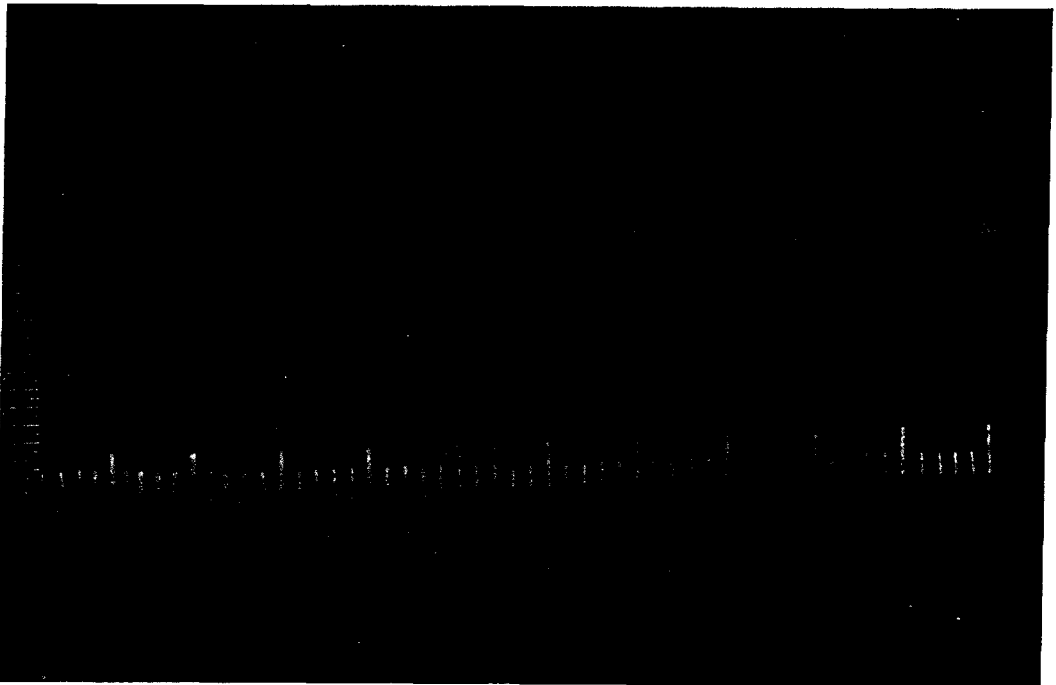


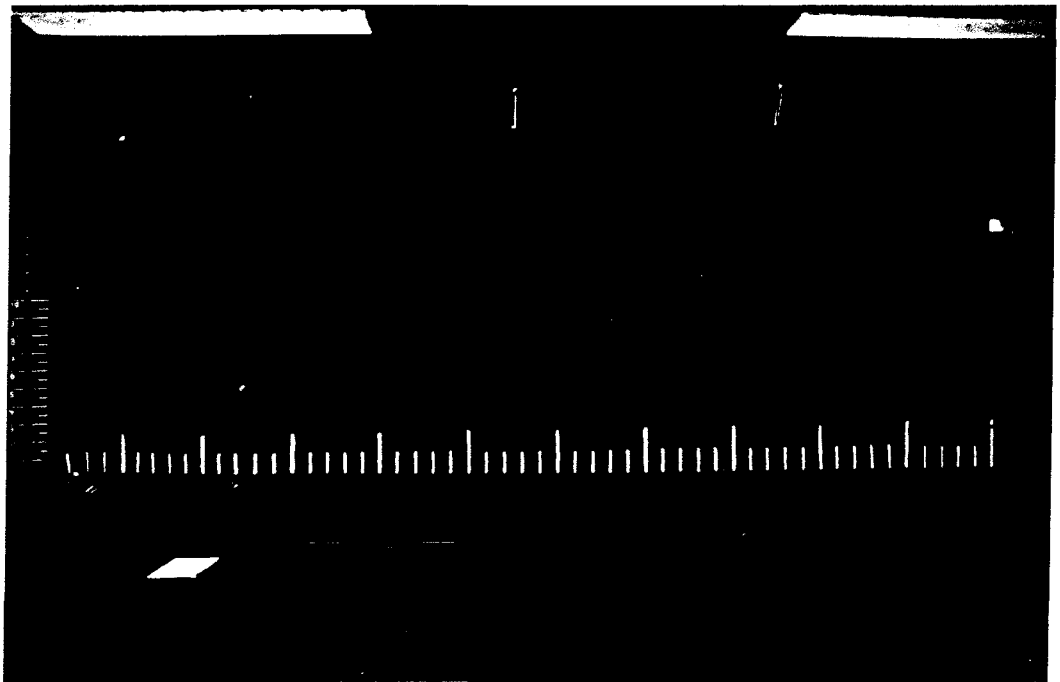
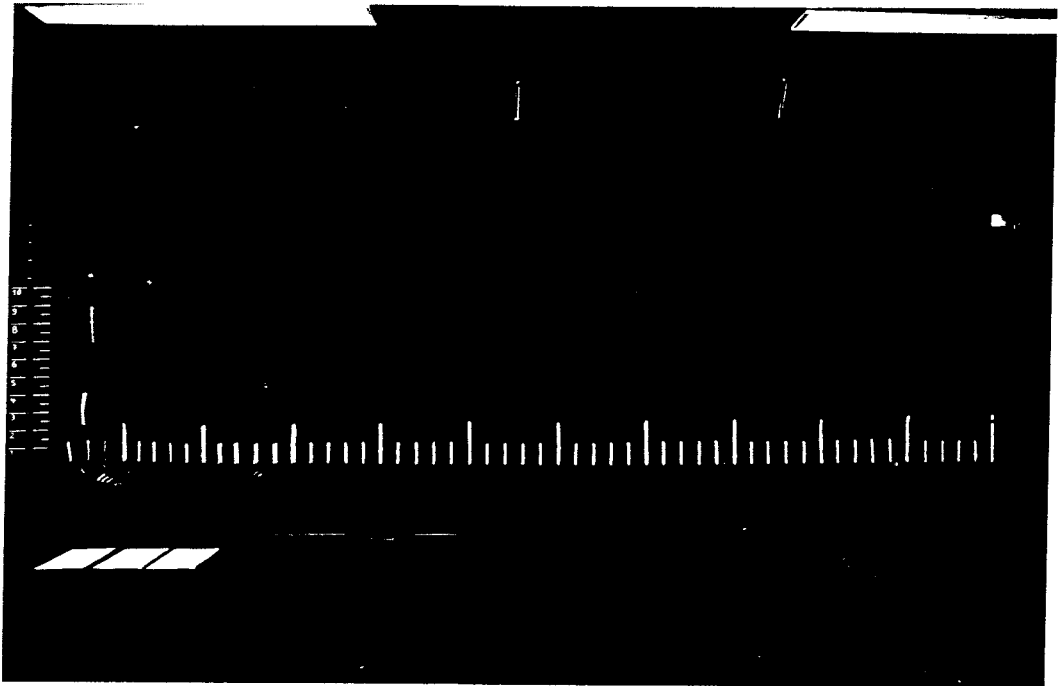
Abb. 5

Markierungen: Kopf, rechte Schulter, Hüfte, Kugel,
rechter Ober- und Unterschenkel

3.2.3 Dritte Aufnahmeserie

Hier wurden nochmals verschiedene Meßpunktmarkierungen angewandt, zugleich die Din-Zahl des Diafilmes auf 18 Din gesenkt und verschiedene Blendenzahlen auf ausreichende Bildhelligkeit hin getestet. Neben dem

24 mm Weitwinkelobjektiv, mit dem die ganze Bewegung im Bild festgehalten werden konnte, wurde das 50 mm Normalobjektiv zur Aufnahme von Bewegungsausschnitten (Anfang und Ende der Bewegung) genommen. Bei der bestehenden Frequenz von $f = 45 \frac{\text{II}}{\text{s}}$ wurden die bestbelichtetsten Dias somit bei der Verwendung der 3000 W zusätzlichem Licht und Blende 4 erzielt.



zu Abb.6

Markierungen: Kopf, rechte Schulter, Hüfte, Kugel, rechter Ober- und Unterschenkel. Blende 5,6

zu Abb.7

Markierungen: Kopf, rechte Schulter, Hüfte, Ellenbogen, Kugel. Blende 2,8

3.2.4 Vierte Aufnahmeserie und Bau der Rotorblende II

Die Frequenz der Rotorblende I mit $45 \frac{\pi}{s}$ hat sich bei den Gesamt- und bei den Teilausschnitten der Sportkegelbewegung als zu hoch herausgestellt. Es konnte keine einwandfreie Trennung der Meßpunktmarkierungen über den gesamten Bereich, vornehmlich im Anfangsbereich, vorgenommen werden. Aus diesem Grunde wurde versucht die Drehzahl der Rotorscheibe auf elektrischem Wege (durch Dimmer) zu reduzieren, was fehlschlug.

Daraufhin wurde der Bau einer neuen Rotorblende II in Angriff genommen mit dem Ziel, die aufgetretenen Mängel der Rotorblende I auszumerzen. Dies waren: sehr große RotorScheibe (erhöhte Vibrationsgefahr) und nur eine einstellbare Frequenz von $45 \frac{\pi}{s}$.

Die Rotorblende II wurde in folgenden Punkten gegenüber der Rotorblende I geändert: die Frontplatte wurde auf 20 mm verstärkt, die Grundplatte und die Seitenplatten wurden auf 13 mm verstärkt, als Antriebsmotor wurde eine 750 W Schlagbohrmaschine mit stufenloser Drehzahlregelung verwandt, die Aluminiumscheibe wurde neu angefertigt. Sie hat nur noch einen Durchmesser von 270 mm, und der Sektorausschnitt wurde mit 22° den niedrigeren Frequenzen angepaßt. So ergibt sich nun bei der niedrigsten Frequenz von $7 \frac{\pi}{s}$ eine Einzelbelichtungszeit von $\frac{1}{114}$ s. Sie wird mit steigender

Drehzahl immer kleiner.

Abb. 8

Rotorblende II von vorn mit Rotorscheibenabdeckschutz

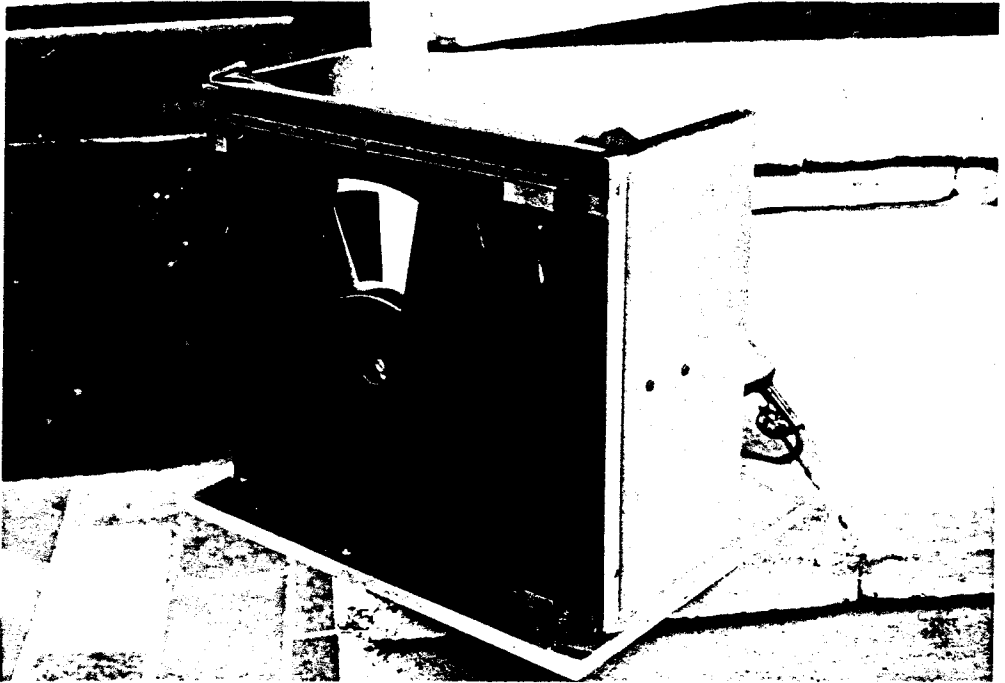
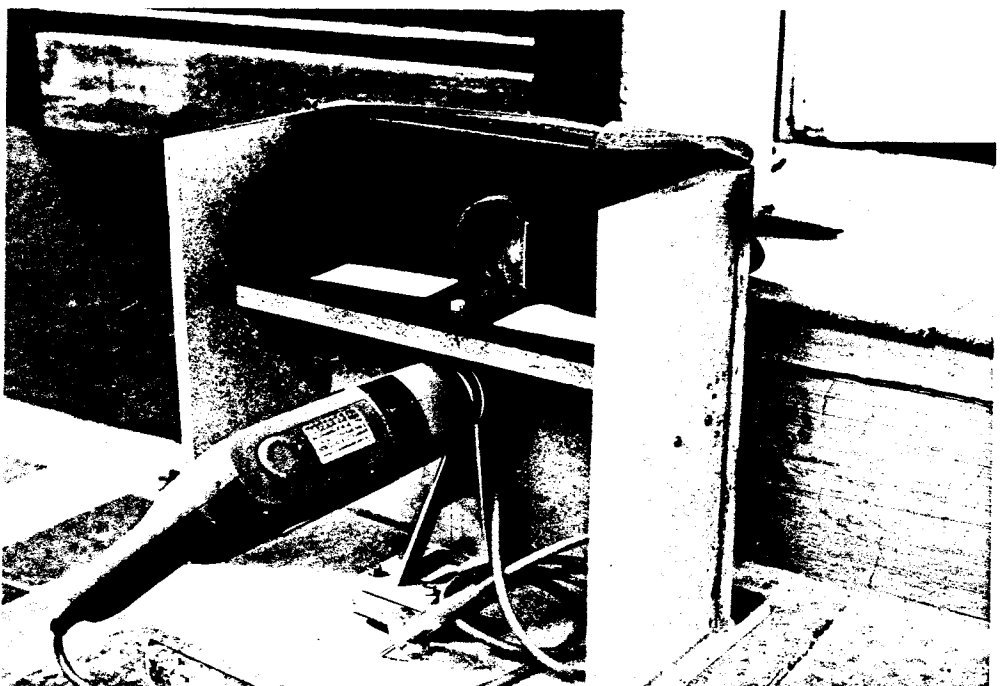


Abb. 9

Rotorblende II von hinten



Bei der vierten Aufnahmeserie wurden vergleichsweise noch beide Rotorblenden eingesetzt. Die Rotorblende I wurde jedoch nur noch für die Teilbewegungsaufnahmen der Kugelabgabe benutzt. An der stufenlosen Drehzahlregelung der Rotorblende II wurden Markierungen angebracht, um jede einzelne einstellbare Frequenz wieder auffindbar zu machen. Nach Probefilmaufnahmen mit 1 s automatischer Kameraverschlußöffnungszeit ergaben sich nach Auszählung der Meßpunktmarkierungen folgende Rotorscheibenfrequenzen:

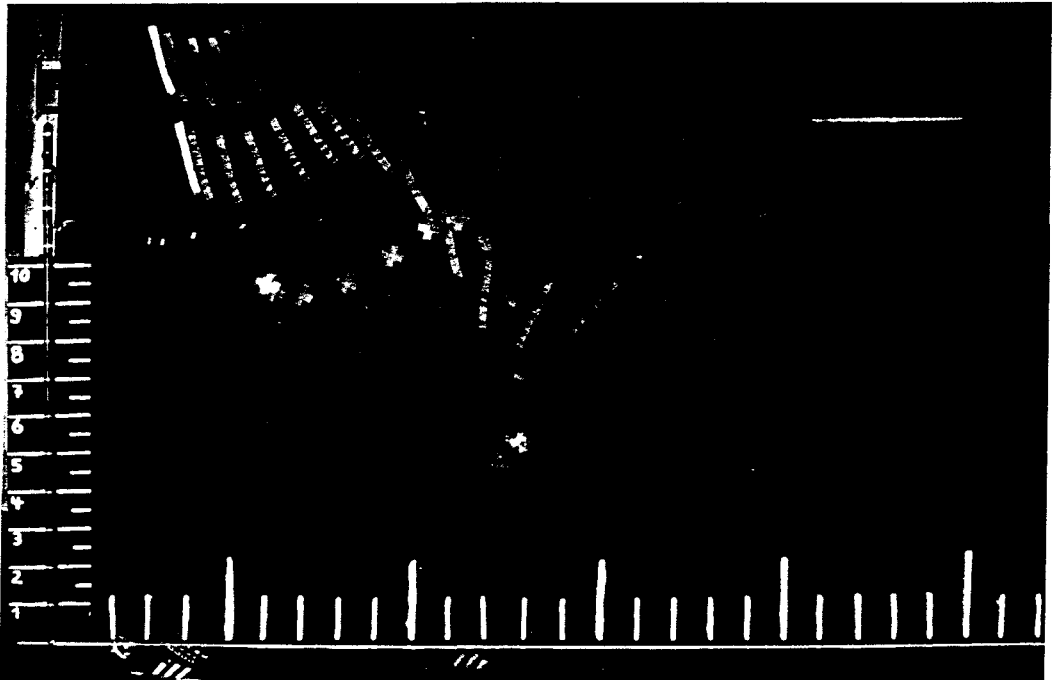
$$f_1 = 7 \text{ u/s} , f_2 = 8 \text{ u/s} , f_3 = 12 \text{ u/s} , f_4 = 16 \text{ u/s} , \\ f_5 = 20 \text{ u/s} , f_6 = 23 \text{ u/s} , f_7 = 26 \text{ u/s} .$$

Auf höhere Frequenzen wurde verzichtet, da sonst eine problemlose Auswertung der Meßpunktmarkierungen, besonders bei den Teilbewegungsaufnahmen nicht gewährleistet werden konnte. Außerdem wurde nun den verschiedenen Rotorscheibendrehzahlen und den dadurch sich ändernden Belichtungszeiten durch verschiedene Blendenwerte Rechnung getragen. Hier stellten sich die Blendenwerte 2, 8 und 4 als günstig heraus. Der Bereich Teilausschnittsaufnahmen der Bewegung wurde jetzt für die Auftaktbewegung sehr interessant, da hier nun eine exakte Trennung der Meßpunktmarkierungen vorgenommen werden kann.

Kopf, rechte Schulter, rechter Ober- und Unterarm und Kugel waren die markierten Körperstellen. Sie haben sich auch als relevante Unterscheidungs- und Bewertungskriterien, die die Bewegung bestimmen, herausgestellt. Die Schrittlänge läßt sich durch die gegebene Mehrfachbelichtung der Schuhe zur Auswertung sehr gut ablesen.

Abb.10

Beginn der Bewegung, $f_1 = 7 \frac{\pi}{s}$, Blende 4



3.2.5 Fünfte Aufnahmeserie

Es wurden folgende Variable festgelegt:

Filmempfindlichkeit 18 Din, Blende 2, 8, Zusatzbeleuchtung von 3000 W und Meßpunktmarkierungen wie bei der vierten Aufnahmeserie festgelegt.

Es wurden hier noch einmal die verschiedenen Frequenzen der Rotorscheibe durch Probeaufnahmen von 1 s zum Vergleich der schon gewonnenen Werte gemacht. Dabei wurden verschiedene Kegler aufgenommen. Die Gesamtbewegung wurde mit f_3 , f_4 und f_5 und mit dem 24 mm Objektiv aufgenommen. Der Beginn und das Ende der Bewegung wurden mit dem 50 mm Objektiv und einer Frequenz von f_2 , f_3 , f_4 bzw. f_4f_4 , f_5 , f_6 aufgenommen.

Abb. 11

Blende 2,8, f_4 f_4 , 24 mm

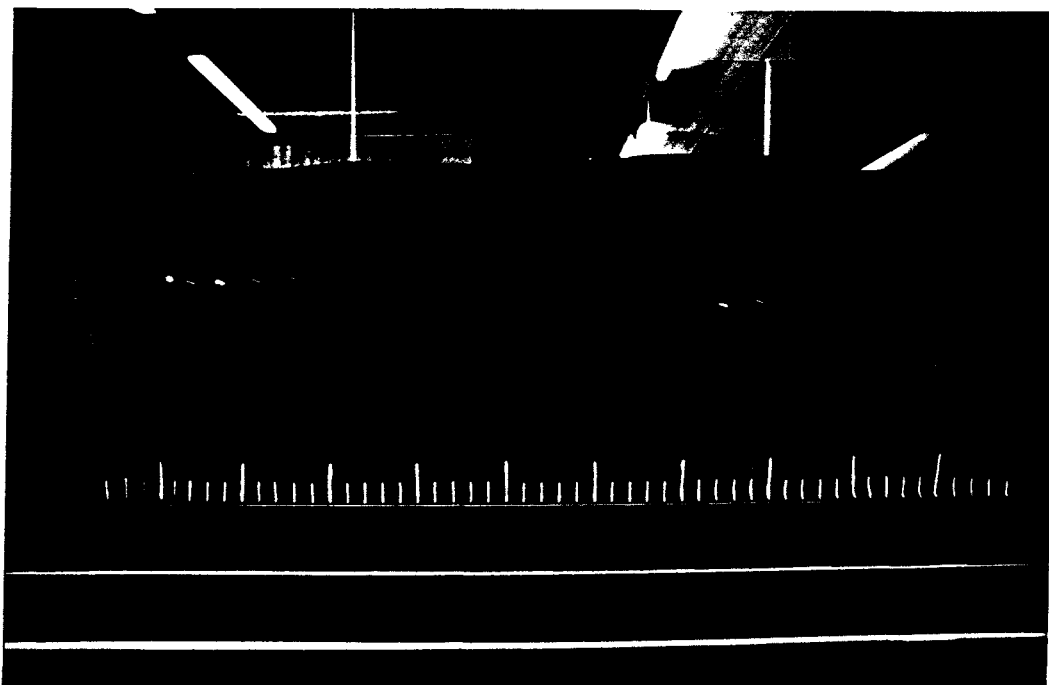


Abb.12

Blende 2,8, f_5 , Ende der Bewegung

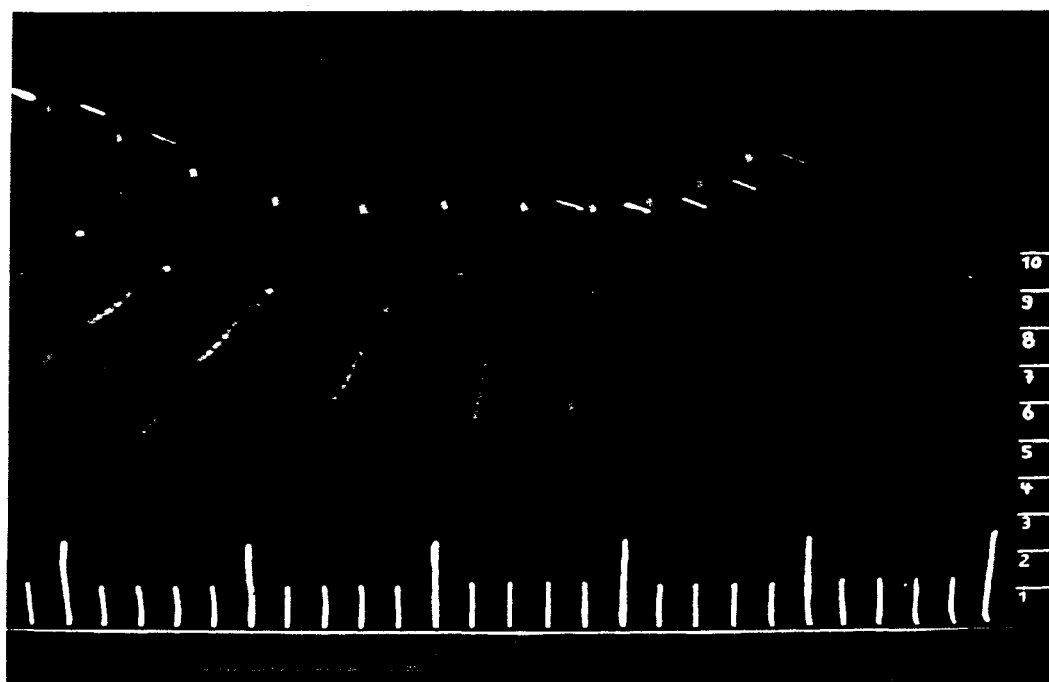
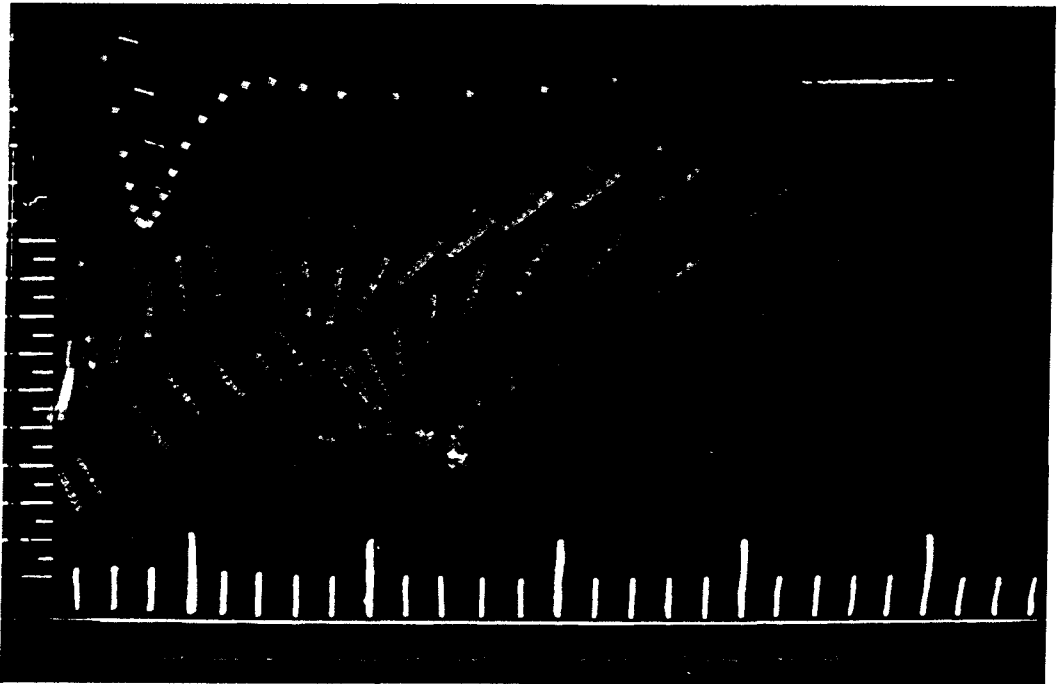


Abb.13

Blende 2 , 8 , $f_{\tau} 4$, Anfang der Bewegung



3.2.6 Sechste Aufnahmeserie

Beibehaltung aller Versuchsanordnungen von der fünften Aufnahmeserie, es wurden nun verschiedene Kegler mit den unterschiedlichsten Stilarten aufgenommen.

3.2.7 Siebte Aufnahmeserie

Siehe sechste Aufnahmeserie, Aufnahmen von Nationalspielern.

Abb. 14

(Sechste Aufnahmeserie)

24 mm Objektiv, Blende 2,8, $f_4 = 16 \frac{U}{S}$

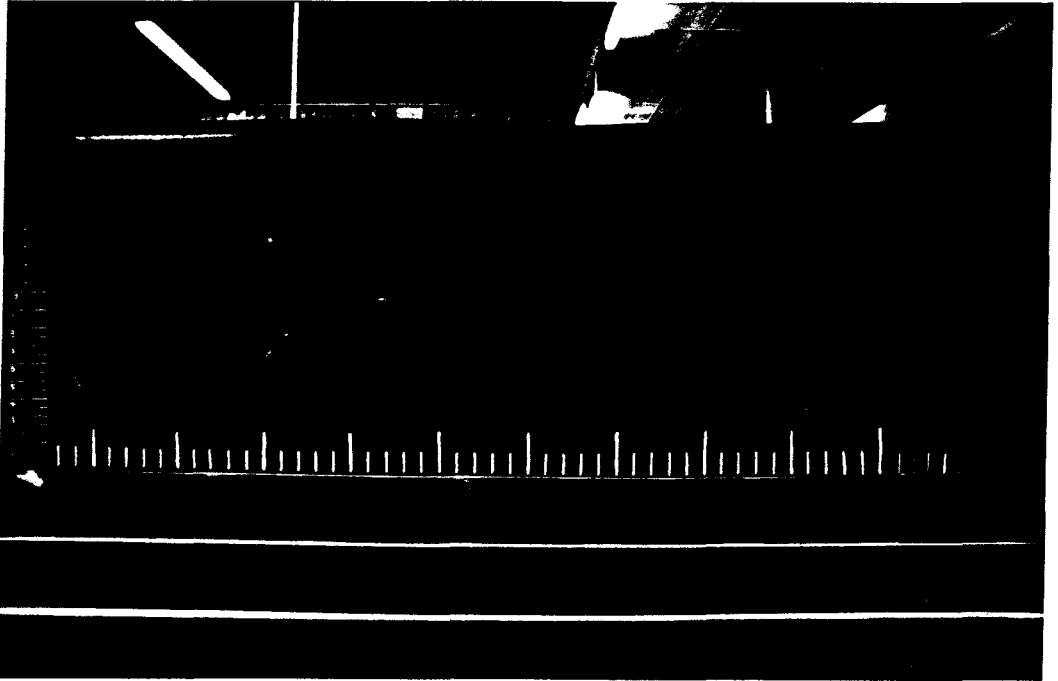
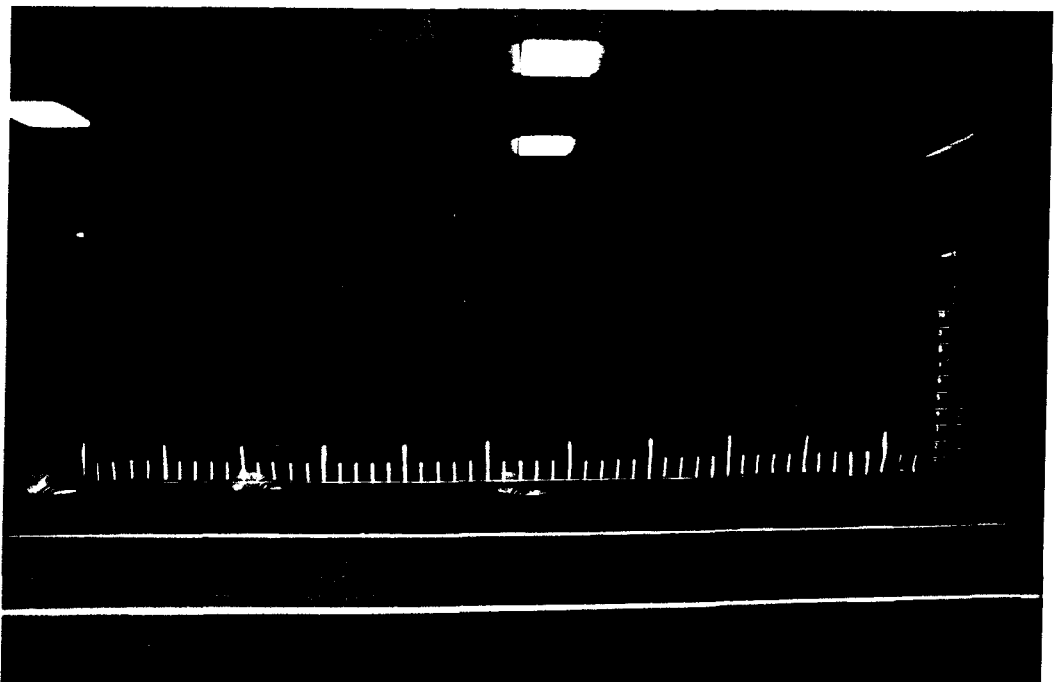


Abb. 15

(Siebte Aufnahmeserie)

24 mm Objektiv, Blende 2,8, $f_3 = 12 \frac{U}{S}$



4. Bewertungs- und Untersuchungskriterien

4.1 Zur Strukturanalyse: Funktionsanalyse

(nach Göhner, U. 1979)

4.1.1 Definitionen

Motorische Fertigkeit:

" Unter (sport-) motorischen Fertigkeiten verstehen wir Abschnitte von (sportlichen) Bewegungen, die die eigenen oder fremden Körper von einem (über die Angabe von Orts-, Positions- und Bewegungszustandes bestimmbar) Ausgangszustand durch einen Komplex funktional voneinander abhängiger Bewegungen in einen wohldefinierbaren Endzustand führen. Wir nennen eine Fertigkeit eine Erreichungsfertigkeit, wenn alle festhaltbaren (Teil-) Bewegungen eine Funktion für die Veränderung vom Ausgangs- zum Endzustand erfüllen." (Göhner, U. 1974, S.118)

Formal läßt sich eine Erreichungsfertigkeit folgendermaßen darstellen: $Z_1 \xrightarrow{\text{Operation}} Z_2$, wobei Z_1 der Ausgangszustand und Z_2 der Endzustand und Operation die Bewegungsoperation ist.

Funktionsphase:

" Als Funktionsphase einer Erreichungsfertigkeit ist eine Teilbewegung zu verstehen, die auf Grund einer genau bestimmbaren Funktion für $Z_1 \rightarrow Z_2$ Veränderung aus dem gesamten Bewegungsablauf ausgegliedert werden kann." (Göhner, U. 1974, S.119)

Bei einer Funktionsphase geht es also darum, die Gesamtbewegung, die durch die Zustände Z_1 und Z_2 abgegrenzt ist, in Analyseeinheiten (den Funktionsphasen)

zu zergliedern. Diese werden während des Geschehens vom Bewegersystem ausgeführt und haben für die Erreichung des Zustandes Z_2 eine ganz bestimmte Funktion im Hinblick auf die mit der Bewegung zu erreichenden Bewegungszielen und den dabei einzuhaltenen Bedingungen. Hierbei dürfen die Funktionsphasen nicht schon mit den Aktivitäten des Bewegersystems gleichgesetzt werden. Sie sollen nur als Bewegungsabschnitte der Gesamtbewegung charakterisiert werden, in denen der Bewegter das zu erreichende Bewegungsziel unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu erreichen versucht.

4.1.2 Charakterisierung der Funktionsphasen

Bei der Funktionsanalyse wird nicht der einzelne Bewegungsabschnitt, der ja die Funktionsphase darstellt charakterisiert, sondern eine Klasse von äquivalenten Bewegungen. Es entsteht somit eine Äquivalenzklasse, deren Elemente alle die gleiche Funktion für die Gesamtbewegung haben. Eine einzelne Funktionsphase ist durch eine äquivalente Bewegung austauschbar. Weiterhin soll eine Charakterisierung der Funktion im Hinblick auf die zu berücksichtigenden Bezugsgrundlagen und der entsprechenden Rahmenbedingungen gesehen werden.

4.1.3 Klassifizierung von Funktionsphasen

- Mechanische Funktionsphase:

Es handelt sich hierbei um die Phasen, deren Funktion mechanischer Natur sind, also um Beschleunigungen, Massenerlagerungen und Impulsübertragungen.

- Systemspezifische Funktionsphase:

Die mechanischen und systemspezifischen Funktionsphasen können durch ihren engen Zusammenhang zu den biomechanischen Funktionsphasen zusammengefaßt werden, da die systemspezifischen den mechanischen energetisch oder positioneill günstigere Bedingungen liefern. Als **Beispiel** seien hier der Streck sprung, der aus einer abzubremsenden Beugebewegung heraus einen größeren Impuls erhält und das Umsetzen im Handgelenk beim Gewichtheben genannt.

- Moto-sensorische Funktionsphase:

Die Funktion dieser Phasen liegt in der Steuerung oder Orientierung, so z. B. die häufig auftretende Kopfsteuerung.

- Reaktive Funktionsphase:

Dies sind Bewegungen, die als Reaktion auf andere Bewegungen erfolgen. Z. B. die Ausgleichsbewegungen der Arme beim Weitsprung.

4.1.4 Hierarchisierung der Funktionsphasen

Um die Zusammenhänge der Funktionsphasen zu verdeutlichen, wird eine Strukturierung in Bezug auf die Gewichtung der Funktionsphasen vorgenommen. Man kann hierbei Hilfs-, Haupt- und Übergangsfunktionsphasen unterscheiden.

4.1.4.1 Hilfsfunktionsphasen

Sie dienen nicht unmittelbar der Erreichung des Z_2 Zustandes, sondern der Unterstützung anderer Funktionsphasen. Gibt es zu einer Hilfsfunktionsphase eine Äquivalente, hat also die Äquivalenzklasse mehr als

nur ein Element, so sind, diese Elemente austauschbar, ohne die Erreichung des Z_2 Zustandes zu beeinträchtigen.

4.1.4.2 Hauptfunktionsphasen

In der Hauptfunktionsphase einer Erreichungsfertigkeit geschieht das Wesentliche zur Erreichung des Z_2 Zustandes. Die Hauptfunktionsphase hat keine Hilfsfunktion für andere Phasen und ohne sie kann eine Fertigkeit nicht mehr erreicht werden, da sie unmittelbar mit der $Z_1 \rightarrow Z_2$ Veränderung zusammenhängt.

4.1.4.3 Übergangsfunktionsphasen

Eine Übergangsfunktionsphase hat die Funktion einen Bewegungszustand, der in der Hauptfunktionsphase erreicht wurde und instabil ist, in einen stabilen Bewegungszustand zu überführen oder zu einer neuen Erreichungsfertigkeit überzuleiten.

4.1.5 Zeitliche Strukturierung der Funktionsphasen

4.1.5.1 Zeit als ordnender Faktor Faktor

Einer Hauptfunktionsphase ist häufig eine Hilfsfunktionsphase vorgeschaltet, um einen möglichst günstigen Ausgangszustand für die eigentliche Bewegung zu erreichen. Einer solchen Hilfsfunktionsphase erster Ordnung kann nun wieder eine weitere Hilfsfunktionsphase vorgeschaltet sein, welche dann Hilfsfunktionsphase zweiter Ordnung bezeichnet wird. Dies wird so

lange fortgeführt, bis kein verbesserter Ausgangszustand mehr erreicht werden kann. Somit erhält man eine sukzessive Verkettung der Funktionsphasen, welche nicht austauschbar ist. Funktionsphasen können jedoch auch gleichzeitig ablaufen, so z.B. bei Ausgleichs-, Unterstützungs- und Steuerfunktionsphasen. Somit existiert also neben der sukzessiven Verkettung auch eine simultane Überlagerung einzelner Funktionsphasen.

4.1.5.2 Zeit als limitierender Faktor

Hierunter wird das Timing einer Bewegung verstanden. So muß z.B. bei Erreichungsfertigkeiten häufig die Hauptfunktionsphase unmittelbar im Anschluß an die Hilfsfunktionsphase erfolgen, um die unterstützende Funktion ausnutzen zu können. Der Übergang von der einen zur anderen Funktionsphase darf nicht zu früh, aber auch nicht zu spät erfolgen, da der erreichte Bewegungszustand schnell wieder abgebaut wird. Solche Übergänge werden als kritische Phasenübergänge bezeichnet.

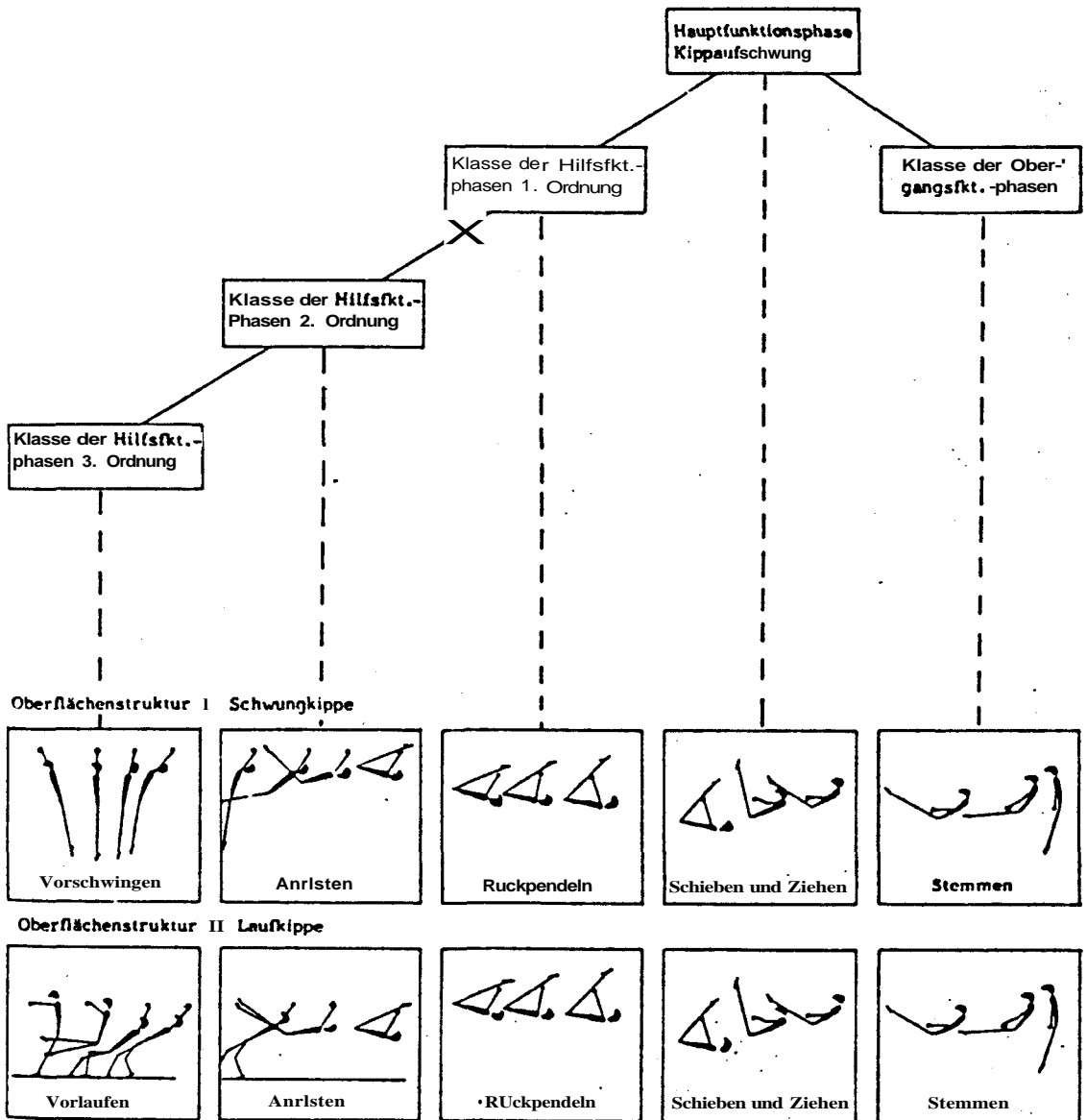
4.1.5.3 t in Abhängigkeit von äußeren Gegebenheiten

Bei Phasenübergängen müssen oftmals auch äußere Gegebenheiten vom Bewegungsausführenden berücksichtigt werden, indem Informationen taktil, visuell, auditiv oder kinästetisch eingeholt werden. Es entstehen nun auch hier kritische Phasenübergänge, wenn für die Informationsaufnahme nur wenig Zeit zur Verfügung steht, die Information umfangreich ist oder

die Informationsaufnahme ungewohnt oder gestört ist.

Abb.16

Schematische Darstellung der Funktionsphasen am Beispiel des Kippaufschwungs (nach Göhner, U. 1975» S.7)



5. Funktionsanalyse im Sportkegeln

5.1 Bewegungs- und Bezugsgrundlagen

Um nun zu einer Analyse der Bewegung zu gelangen, bedarf es nicht nur der Gliederung und Festlegung einzelner funktionaler Verlaufsbestandteile des Bewegungsablaufes, die zur Ermittlung der zugehörigen Operations- und Verlaufscharakteristika führen, sondern man muß auch davon ausgehen, daß die räumlich-zeitlichen Merkmale stark von der äußeren Bezugsgrundlage geprägt werden. Geht man nun von einer gegebenen Bewegungsvielfalt aus, die der Bezugsgrundlage zugeordnet wird, so lassen sich dadurch die Notwendigkeiten und Alternativen ermitteln, welche für die vorhandene Bewegungsvielfalt charakteristisch ist.

Welche Bezugsgrundlagen bestimmen nun den Verlauf des Sportkegelns?

Zur Klärung dieses Sachverhaltes gibt es hinsichtlich der äußeren Bewegungsbedingungen keine Schwierigkeiten. Der Kegler als der Ausführende und Beweger muß sich mit der Kugel als dem Movendum in die verschiedenen Lagen, Positionen und Bewegungszustände bringen. Er muß sich und das Movendum unter Berücksichtigung der Richtlinien, die ihm durch die Regeln der Sportordnung und durch die vorhandenen speziellen Bedingungen der Kegelbahnanlagen gegeben sind, bewegen. Als erstes wäre hier der limitierte Anlauf durch die Länge der Anlaufbohle (Länge der Anlaufbohle bei Asphaltkegelbahnen: 5,5 m) zu nennen. Als zweites die Form und das Gewicht der Kugel (Voll-, bzw. Loch-

kugel). Bei der Asphalt- und der Scherenbahn haben die Kugeln einen Durchmesser von 16 cm und ein Gewicht von 2,8 - 2,9 kg. Bei der Bohlebahn 16,5 cm Durchmesser bei einem Gewicht von 3,05 - 3,15 kg. Dann wäre die begrenzte Auflagefläche der Kugel (Auf-
lagebohle: 0,35 m x 5,5 m) zu nennen und die Beschaffenheit und Länge der Kugellauffläche (Asphalt-
bahn: 19,5 m, Bohlebahn: 23,5 m, Scherebahn: 18 m). Im weiteren Verlauf wird hier nur die Asphaltkegel-
bahn als Bezugsgrundlage genommen.

Das Bewegungsziel des Keglers besteht darin, im Rahmen der äußeren Bezugsgrundlagen durch einen speziellen Anlauf und einer möglichst energieverlustfreien Kugelführung, einer entsprechend genauen Kugelabgabe möglichst viele Kegel mit einem Wurf zu treffen. Dabei lassen sich auch die beiden zu analysierenden Bewegungen in eine Grundstellung, einen Bewegungsauftakt, einen aus drei Schritten bestehenden Anlauf, die Kugelabgabe (bei der Kugelabgabe befindet sich das linke Bein vorne) und einen Auffangschritt gliedern, (siehe auch S.12/13 Grohmann, G.)

5.2 Welche Punktionsphasen lassen sich fest- legen

Entsprechend der angestellten Überlegungen ist die Gliederung der beiden Bewegungsabläufe davon abhängig, welche Funktionen im Hinblick auf die vorgegebenen Bezugsgrundlagen charakterisiert werden können. Bei beiden Sportkeglern läßt sich zunächst einmal eine Phase dadurch abgrenzen, daß eine positioneile Ausgangsbasis in der Grundstellung

für eine nachfolgende raumlich-zeitliche Aufteilung der Gesamtbewegung geschaffen werden kann. Dies ist deshalb notwendig, weil es sich hier um eine oft zu wiederholende Präzisionsleistung handelt, in der kleinste Abweichungen auch schon in der Grundstellung über Erfolg oder Mißerfolg entscheidend sein können. Und somit wird schon hier eine Grundlage für eine bis zu 200 mal zu wiederholende konstante Bewegung und deren Stabilisierung gelegt. Hier findet auch eine konzentrative Vorbereitung durch Antizipation der wichtigsten Bewegungsschritte, gekoppelt mit einer regulativen Überprüfung des vorangegangenen Wurfes statt. Andererseits befindet sich die Kugel hier in einer für den Bewegungsbeginn und Bewegungsverlauf günstigen Ausgangsposition.

Wie vorhin schon erwähnt, läßt sich die nächste Funktion bei beiden Keglern als Bewegungsauftakt bezeichnen. Seine Funktion liegt darin begründet, daß durch die Höhe der Kugelführung in der Auftaktbewegung die Anfangsdynamik der Gesamtbewegung gesteuert wird, und die Kugel durch die Auftaktbewegung auf ein für den Beschleunigungsweg optimales potentiell und kinetisches Energieniveau gebracht wird, was anschließend einer ökonomischeren Bewegungsausführung zugute kommt. Dieser Phase kommen somit zwei wichtige Bedeutungen zu: erstens die zeitliche Koordination aller zum Bewegungsbeginn notwendigen Handlungsvollzüge und zweitens die Schaffung eines möglichst hohen Energieniveaus für die Kugel, ohne das ihr weiterer Beschleunigungsweg nicht optimal gestaltet werden kann.

Eine weitere Funktionsphase schließt sich bei beiden Keglern dieser mechanischen Funktionsphase an. Es erfolgt der Übergang zur Beschleunigung des Systems

Beweger-Movendum. Nach dem bewegungsbeginnenden Auftakt besteht für den Fortgang der Bewegung ein stereotyper Handlungszwang. Er ist keiner objektiven klaren willentlichen Beeinflussung seitens des Keglers bis hin zum Bewegungsende mehr unterlegen. Die hier eingeleitete Bewegung kann in ihrer Weiterführung nur noch zeitlich gedehnt oder gerafft werden. Diese Beschleunigungsphase des Systems Beweger-Movendum ist durch einen exakt ablaufenden Dreischritte-Anlauf geprägt. Ohne diese Phase wäre eine gezielte Kugelabgabe nicht zu erreichen. Hier erfährt die Kugel die zur Kugelabgabe notwendige Beschleunigung bis hin zur Abwurfendgeschwindigkeit, und der Kegler muß die Kugel und sich in die notwendige Abwurfposition bringen. So erfolgt die Beschleunigung von Kegler und Kugel durch die Länge und Geschwindigkeit der Anlaufschritte, wobei die Kugel durch die spezielle Bahnkurve (Beschleunigungskurve) an der Hand des Keglers, am Endpunkt des Spielarmes, der als Pendel benutzt werden soll, von einer geschwungenen Beschleunigungskurve in eine gerade horizontale Bahn übergeführt werden muß. Der Anlauf dient letzten Endes nur dazu, die Voraussetzungen für die entscheidende Phase, die Kugelabgabe zu schaffen. In dieser Funktionsphase geschieht das Wesentliche zur Erreichung des Endzustandes beim Sportkegeln. Alle bisherigen Bewegungen, die vorher abgelaufen sind, zielen auf diesen einen Punkt hin. Sie kann somit als Hauptfunktionsphase eingeordnet werden. In dieser Phase wird der Abwurf, die Abwurfgeschwindigkeit, die Richtung und der Effet der Kugel festgelegt. Nach der Kugelabgabe ist die direkte Einflußnahme des Keglers auf das Trefferergebnis beendet. Die

letzte Funktion, die in der Gesamtbewegung beider Kegler erfüllt werden muß, läßt sich mit einem Abbremsen, einem Auffangen des beschleunigten Systems kennzeichnen. In dieser Phase wird durch das Aufrichten des Oberkörpers und einen weiteren Schritt (Auffangschritt) die vorwärtsgerichtete Geschwindigkeit des gesamten beschleunigten Systems abgebremst. So läßt sich die Bewegung beider Sportkegler, unter Berücksichtigung der Bezugsgrundlage in fünf Funktionsphasen unterteilen:

- Schaffen der günstigsten Ausgangsposition für die Bewegungsrealisation. (Grundstellung)
- Zeitliche Koordination des Bewegungsbeginnes und Erreichung eines optimalen Ausgangsniveaus für den Beschleunigungsweg der Kugel. (Auftakt)
- Beschleunigung des Systems Beweger-Movendum. (Anlauf)
- Zielgerichtetheit und Genauigkeit in der Kugelabgabe. (Kugelabgabe)
- Abbremsen des beschleunigten Systems. (Auffangschritt)

5.3 Durch welche Bewegerooperationen können die Funktionen bewerkstelligt werden

Im weiteren Verlauf werden die zwei verschiedenen Kegler, deren Grundlage die aufgenommenen Bewegungsabläufe darstellen, mit Kegler A und Kegler B bezeichnet.

5.3.1 Bewegeroperation bei der Grundstellung und dem Auftakt

Da sich die Bewegungen beider Kegler aus funktionaler

Sicht nicht unterscheiden, ist es nun interessant, welche Bewegerooperationen diese Funktionen erfüllen. Beide Kegler nehmen eine gerade aufrechte Haltung mit Front zu den Kegeln ein. Kegler A steht ca. 0,6 m vom Anfang der Anlaufbohle entfernt in der Anlaufbohle, Kegler B nur ca. 0,15 m. Gemessen wurde vom Anfang der Anlaufbohle bis zu den Fersen. Bei beiden Keglern stehen die Füße parallel und auf gleicher Höhe. Beide Kegler haben sich so aufgestellt, daß der gestreckt herunterhängende Spielarm (hier bei beiden der rechte Arm) mit der Kugel sich über der Mitte der Auflagenbohle befindet und seitlich neben dem Körper gehalten wird. Dies erscheint deshalb sinnvoll, weil die Bewegungsbahn der Kugel möglichst in dieser gedachten vertikalen Ebene der Auflagenbohlenmitte verlaufen sollte, also ohne seitliche Abweichungen der Kugel aus dieser gedachten Ebene. Damit die Kugel so leichter in der Mitte der Auflagenbohle abgegeben werden kann. Die Kugel kann von der freien linken Hand (Rechtshänder) leicht unterstützt werden, was jedoch wenn möglich vermieden werden sollte, da dies eine Schulterverwringung mit sich bringt, und sich dies eventuell auf den Bewegungsablauf und die Kugelführung über den gesamten Beschleunigungsverlauf negativ auswirken kann. Diese Kugelhaltung in der aufrechten Körperhaltung in der Grundstellung gibt der Kugel schon hier eine relativ hohe potentielle Anfangsenergie. Eine Grundstellung mit nach vorne gebeugtem Oberkörper und demzufolge relativ tiefer Kugelhaltung ist aus energetischen Gründen deshalb zu vermeiden, da die potentielle Anfangsenergie der Kugel in einem solchen Fall wesentlich geringer ist und sich dies negativ auf die Beschleunigungsbahn der Kugel auswirkt.

Aus dieser aufrechten Grundstellung der Kegler A und B erfolgt nun der Auftakt, der Bewegungsbeginn. Bei Kegler A erfolgt der Auftakt, indem er den gestreckten Spielarm mit der Kugel leicht nach vorne oben um ca. 0,3 m anhebt, wobei der Spielarm als Pendel hier im Schultergelenk eine Drehachse besitzt. Sie wird durch das Anheben des Spielarmes ebenfalls leicht angehoben.

Bei Kegler B beginnt der Auftakt mit einer leichten nach vorne unten Führung des gestreckten Spielarmes um ca. 0,05 m. Danach wird der gestreckte Spielarm mit der Kugel wieder um ca. 0,15 m angehoben. Hierbei ist auch eine Hoch-Tief-Bewegung in der Schulter als Drehachse zu beobachten.

Ein noch stärkeres Anheben des Spielarmes bis etwa Augenhöhe bringt zwar einen momentanen höheren energetischen Zuwachs, wobei anschließend das Spielarmpendel in der fallenden Phase wieder stärker abgebremst werden muß, und dies nur unnötig mehr Muskelarbeit verlangen würde und dies deshalb nicht ratsam ist.

So führt das Kugelanheben im Auftakt beim Kegler A zu einer größeren Energiezunahme als das Kugelanheben bei der Auftaktbewegung des Keglers B mit seiner Hoch-Tief-Bewegung.

5.3.2 Bewegeroperation bei der Beschleunigung des Systems Beweger-Movendum während des Anlaufs

Die Auftaktbewegung führt nahtlos in die Beschleunigungsbewegung des Systems Beweger-Movendum über, und zwar dann, wenn der Spielarmpendel mit der Kugel den

höchsten Punkt der Armanhebung überschritten hat und wieder zurückschwingt. An diesem Punkt läßt sich bei beiden Keglern in den Graphen (siehe Anhang) ein erstes Geschwindigkeitsminimum für die Kugel feststellen.

KeglerA :

Der Anlauf wird geprägt von der Länge der einzelnen Schritte. Als Rechtshänder beginnt er mit dem linken Bein und gibt die Kugel auch wieder auf dem linken Bein beim dritten Schritt ab. Der erste Schritt ist hier 1 m lang, der zweite Schritt 1,2 m und der dritte Schritt 2 m lang. Hieraus ist ersichtlich, daß im dritten Schritt, dem Kugelabgabeschritt, der Körperschwerpunkt am tiefsten gelagert ist. Dies wird vom Oberkörper dahingehend unterstützt, daß er sich bis zur Kugelabgabe stetig absenkt. Es handelt sich somit um ein kontinuierliches Abwärtsstreben des Oberkörpers zur Kugelabgabe hin. Durch den kontinuierlich nach unten gehenden Oberkörper, und dies schon im ersten Schritt, wird die Kugel am gestreckten Spielarmpendel nach dem Anheben im Auftakt wieder in einer Pendelbewegung zurückgeführt und anschließend nachdem er den tiefsten Punkt durchlaufen hat, wird er nach hinten hochgeführt, ohne abgebremst zu werden. Nach dem Energieerhaltungssatz müßte der Spielarmpendel mit der Kugel nach dem Durchschwingen durch den tiefsten Punkt wieder dieselbe Ausgangshöhe erreichen, wie zum Zeitpunkt des höchsten Anhebens im Auftakt, wenn die Muskelkraft des Armes den Abwärtsschwung des Spielarmpendels nicht beeinflussen würde. Die Überlagerung der Geschwindigkeiten des vorstrebenden Oberkörpers und des zurückschwingenden Spielarmes bewirkt, daß die Schulter als Drehachse sich auch nach vorne unten verlagert, und so-

mit die Kugel nicht so weit nach hinten schwingt, wie wenn keine Vorwärts-Abwärtsbewegung der Schulterdrehachse vorhanden wäre. Durch diese Bewegung der Drehachse wird nun keine kreisförmige Beschleunigungsbahn der Kugel möglich, sondern eine in horizontaler Ebene zusammengedrückte Beschleunigungskurve, die an eine stehende Ellipse erinnert (siehe Abb.17 und Abb.18). Durch diesen ellipsenförmigen Beschleunigungsverlauf der Kugel läßt sich der Beschleunigungsweg der Kugel im Gegensatz zur Anlauflänge des Drei-Schritte-Anlaufes von 4,37 m auf 5,57 m verlängern. Da beim Sportkegeln, wie schon angeführt, nicht unbedingt die Maximierung der Kugelgeschwindigkeit zu einem höheren Trefferergebnis beiträgt, sondern es eher auf Genauigkeit der Kugelführung und Präzision in der Kugelabgabe ankommt, läßt diese Kugelführung ein ermüdungsfreieres Kegeln zu, da der Kegler hier relativ wenig Armkraft benötigt, um die Kugel mit einer relativ hohen Geschwindigkeit abzugeben.

Bei Kegler A ist zu beobachten, daß die Kugel sogar über die Waagerechte der abwärtsgehenden Schulterachse hinaus angehoben wird.

Kegler B:

Auch hier wird nach drei Schritten Anlauf die Kugel auf dem linken Bein zur Kugelabgabe vorgebracht. Der erste Schritt ist hier 0,86 m lang, der zweite Schritt 1,38 m und der dritte Schritt 2,15 m lang. Auch hier ist die günstige **Voraussetzung** im letzten langen Schritt gegeben, den Körperschwerpunkt durch Senken des Oberkörpers möglichst niedrig zu lagern, um mit der Spielhand die Kugel weit vorführen zu können. Auch bei dieser Bewegung wird, wie schon bei Kegler A,

Abb.17
Kegler A
Beginn der
Bewegung

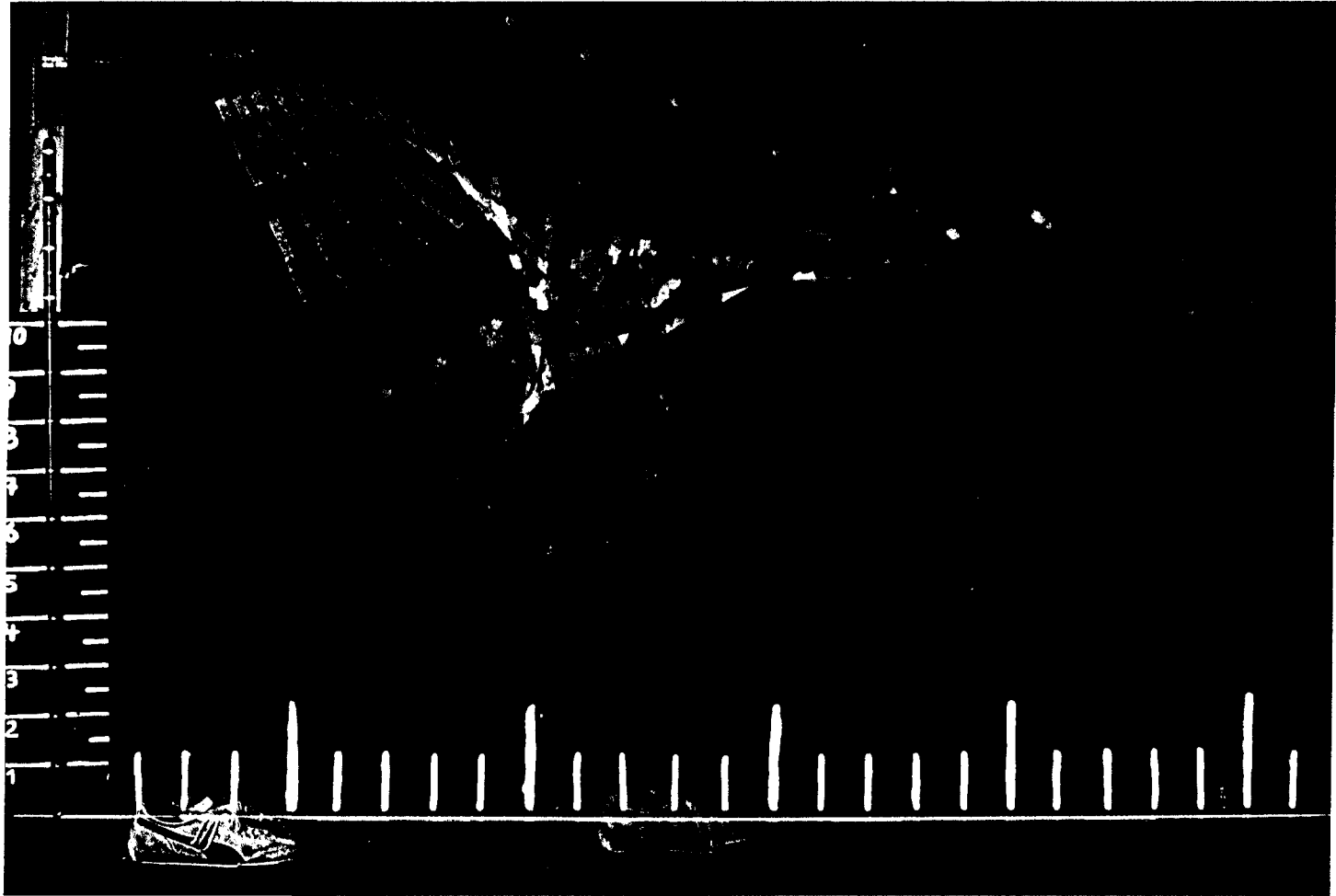
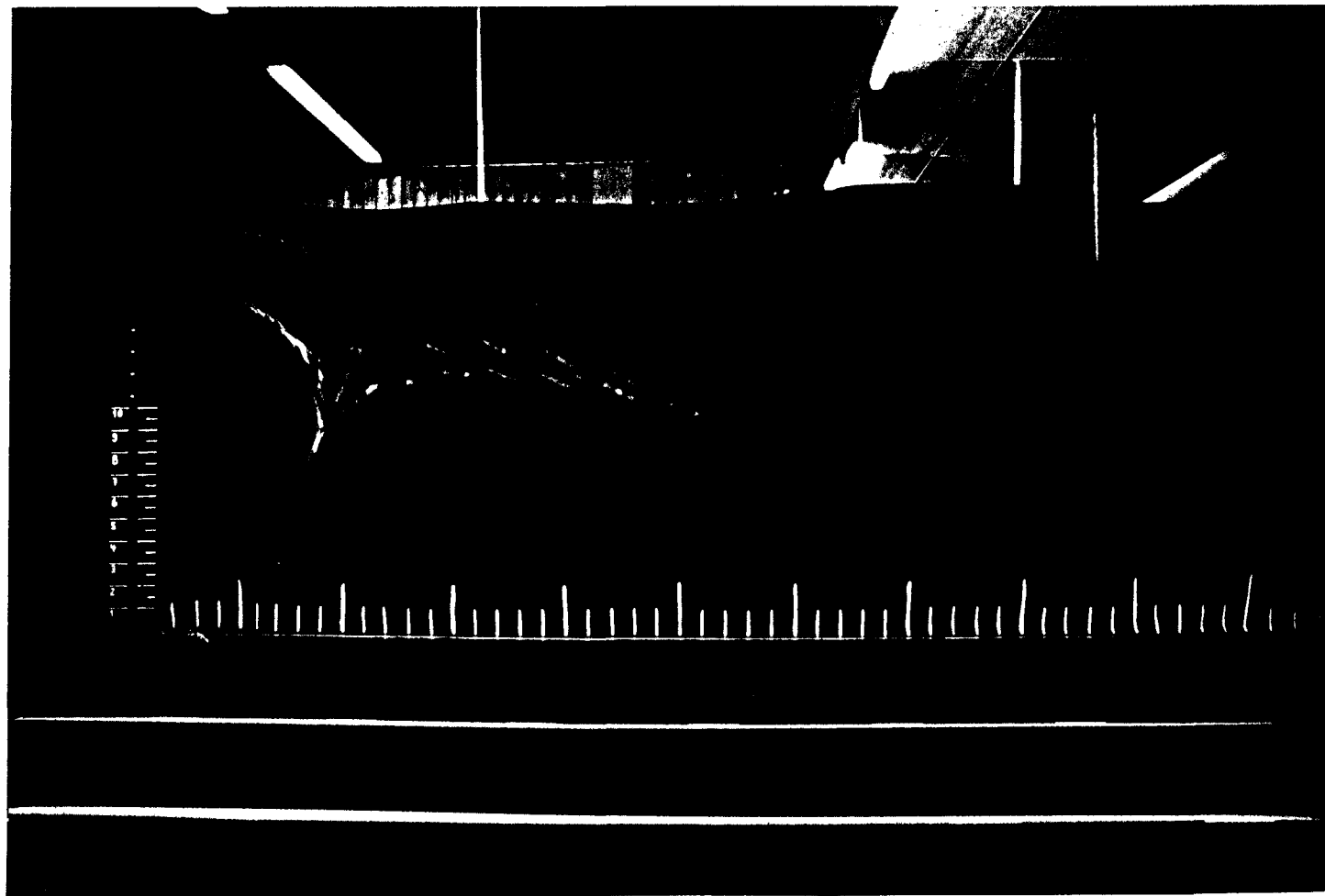


Abb.18
Kegler A
Gesamtbewegung



der Oberkörper während des Drei-Schritte-Anlaufes auf einen tiefsten Punkt bei der Kugelabgabe gebracht, jedoch ist in der gesamten Abwärtsbewegung nochmal eine Aufwärtsbewegung zu verzeichnen, so daß die Abwärtsbewegung des Oberkörpers nicht kontinuierlich verläuft, (siehe Abb.20)

Nach Beendigung des Auftaktes wird nun der Spielarmpendel mit der Kugel nicht mehr zurückgeführt, sondern, bedingt durch das starke Vorwärts-Abwärtsstreben des Oberkörpers, nach vorne unten gebracht; und er wird in seinem Rückschwung fast ganz abgebremst, so daß der Spielarmpendel kaum zurückschwingt,. Der Spielarmpendel wird somit durch Einsatz von Muskelkraft daran gehindert dem Gesetz des Energieerhaltungssatzes nachzukommen. So fällt die Kugel, bedingt durch die starke nach vorne unten Bewegung des Oberkörpers und dem Abbremsen des Pendelrückschwunges auch nach unten. Die gewonnene Energie des Auftaktes geht dadurch zum großen Teil wieder verloren. Die Kugel sinkt sehr tief ab und ihre Geschwindigkeit vermindert sich drastisch (siehe dazu Abb.19 und Graph 4 von Kegler B). Durch diese Kugelführung beträgt die Länge des Beschleunigungsweges der Kugel 4,78 m gegenüber 4,4 m beim Beschleunigungsweg des Drei-Schritte-Anlaufes. Aus dieser recht tiefen Lage heraus erfährt die Kugel eine erneute Beschleunigung durch eine weitere Hoch-Tief-Bewegung in der vorwärtsgerichteten Gesamtbewegung des Körpers bis hin zur Kugelabgabe (siehe Abb.20). Auch hier sollte die Spielarmpendelführung möglichst über die gesamte Bewegung in vertikaler Ebene ohne seitliche Abweichungen bis

Abb.19
Kegler B
Beginn der
Bewegung

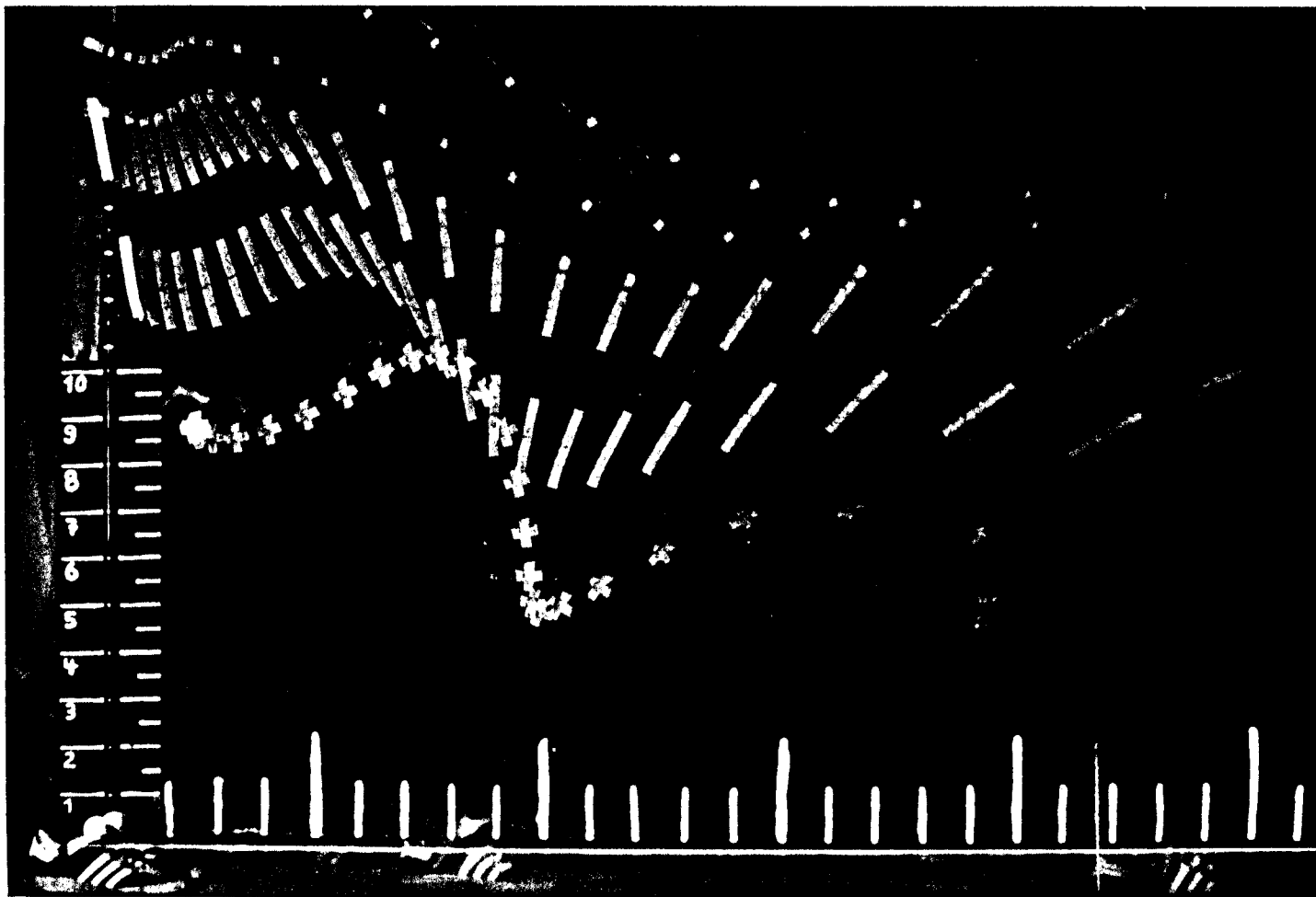
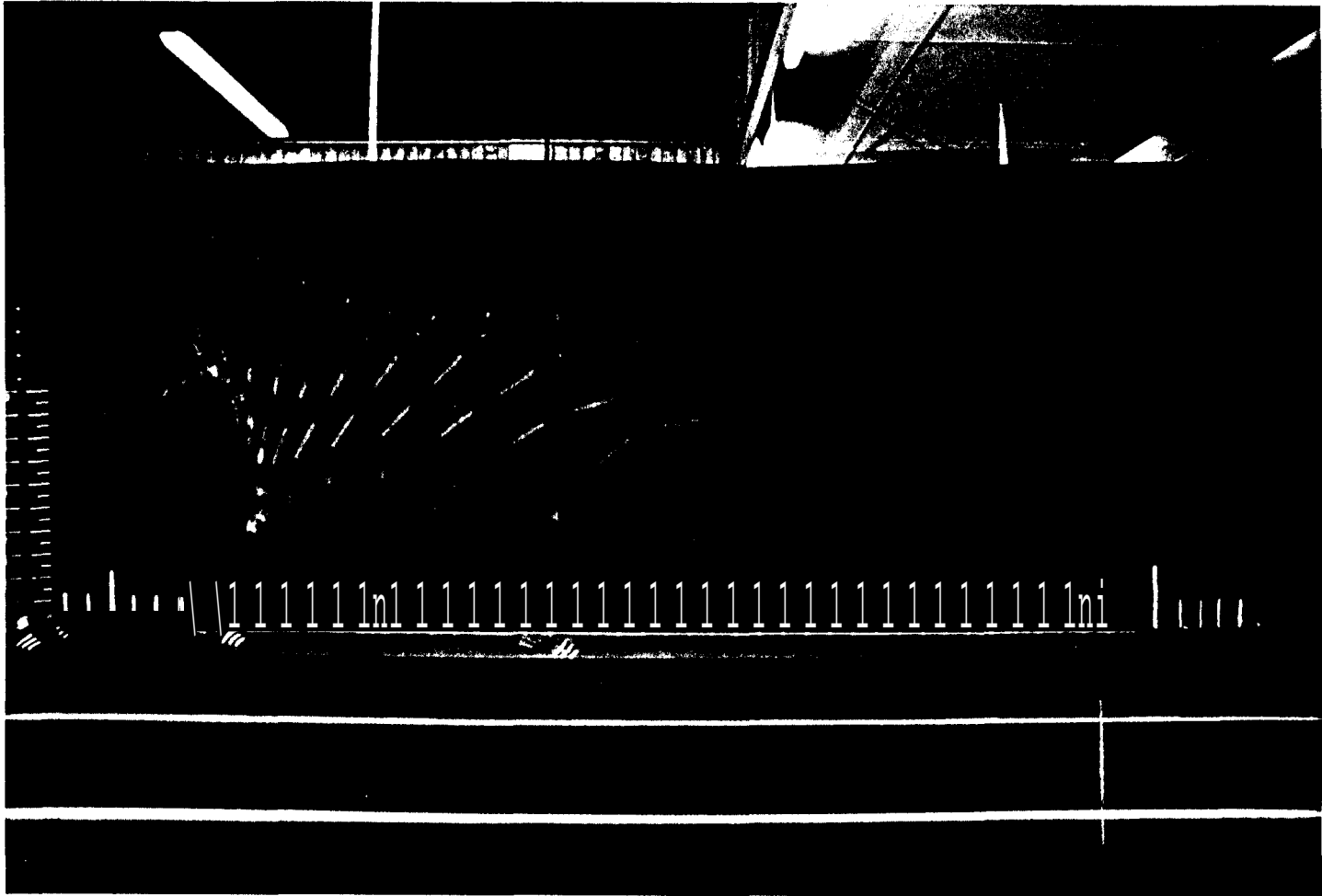


Abb. 20
Kegler B
Gesamtbe-
wegung



zur Kugelabgabe hin geführt werden, ebenso sollten die Anlaufschritte möglichst geradlinig an einer gedachten Linie, wie bei Kegler B zu sehen ist, entlanglaufen, da dies die beste Voraussetzung für eine geradlinige, kontrollierte Bewegung ist. Sie trägt dazu bei, daß während der Kugelabgabe die Kugel immer über den Fixierpunkt (gedachte Mitte der Auflagebohle als Auflagepunkt) abgegeben werden kann.

5.3.3 Bewegeroperation bei der Kugelabgabe und dem Abbremsen des Bewegersystems

Auch hier läßt sich ein fließender Übergang vom Anlauf (Beschleunigung des Systems Beweger-Movendum) und der darauffolgenden Abgabe des Movendums beobachten. Setzt der linke Fuß in dritten Schritt auf, so ist die Anlaufphase beendet, der Kegler befindet sich jetzt in der für ihn optimalen Kugelabgabeposition. Der dritte Schritt, der bei beiden Keglern als Ausfallschritt zur Kugelabgabe führt, ist im Verhältnis zu den beiden vorangegangenen Schritten wesentlich länger. Dadurch ist eine gute Voraussetzung geschaffen, daß die Spielhand die Kugel sehr lange nachführen kann, wenn zugleich der Oberkörper weit nach vorne gebeugt ist, was bei beiden Keglern der Fall ist. Der Auflagepunkt der Kugel ist bei Kegler A weiter nach vorne zum Auflagenbohlenende hin verlagert als bei Kegler B. Dies ist bedingt durch die unterschiedliche Grundstellungsposition, die Kegler A gegenüber Kegler B einnimmt. Dies hat zur Folge, daß die Kugel von

Kegler A einen kürzeren Weg vom Verlassen der Spielhand bis zu den Kegeln zurücklegen muß, als die Kugel von Kegler B, was letzten Endes der Treffsicherheit und **Treffgenauigkeit**, besonders dem Abräumen einzelner Kegel, zugute kommt.

Bei Kegler A erkennt man aus Graph 6, daß die Kugel bei der Abgabe eine gleichmäßige Beschleunigung erfährt. Die Geschwindigkeit des Drehachsenpunktes, der beim Beschleunigen der Kugel **ja** durch das Nachführen der Spielarmhand auch eine beschleunigende Kraft erfährt, ist im Vergleich zu Kegler B hier Jedoch wesentlich geringer. Dies wird als Folge des längeren und kontinuierlicheren Beschleunigungsweges angesehen. Bei Kegler B sieht man aus Graph 6, daß der Geschwindigkeitsverlauf der Schulter bei der Kugelabgabe wesentlich steiler ansteigt als bei Kegler A, um hier durch verstärkten Einsatz der Muskelkraft des Armes und des Schultergürtels den ungünstigeren Beschleunigungsverlauf der Kugel wieder auszugleichen, so daß die Kugel doch noch eine maximale Abwurfgeschwindigkeit erhält. Aus den beiden Graphen läßt sich auch leicht ersehen, daß Kegler A eine wesentlich höhere Kugelabwurfgeschwindigkeit erzielt als Kegler B, und er dies unter wesentlich günstigeren energetischen Bedingungen, wie vorhin beschrieben, erreichen kann. Bei der Kugelabgabe sollte der Kugel im letzten Druckpunkt kein Effet durch Verdrehen, Kippen oder Hochreißen der Hand verliehen werden, da dies die Kugel von der gedachten Kugellauflinie abbringt, und dann der Effet schon beim Abspielen der Kugel in die Kugellauflinie mit einbezogen werden muß. Bei der Kugel-

Abb.21
Kegler A
Ende der
Bewegung

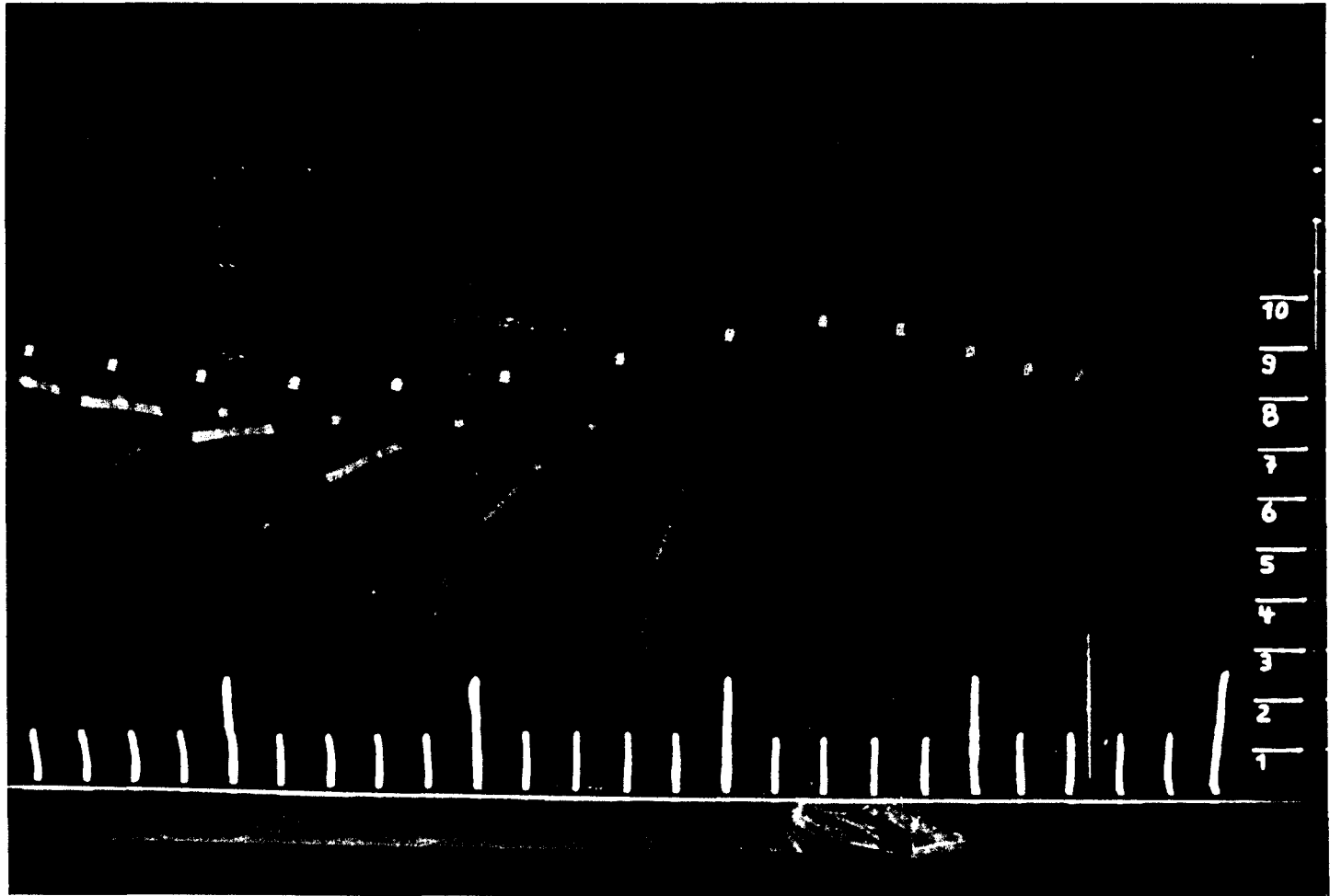
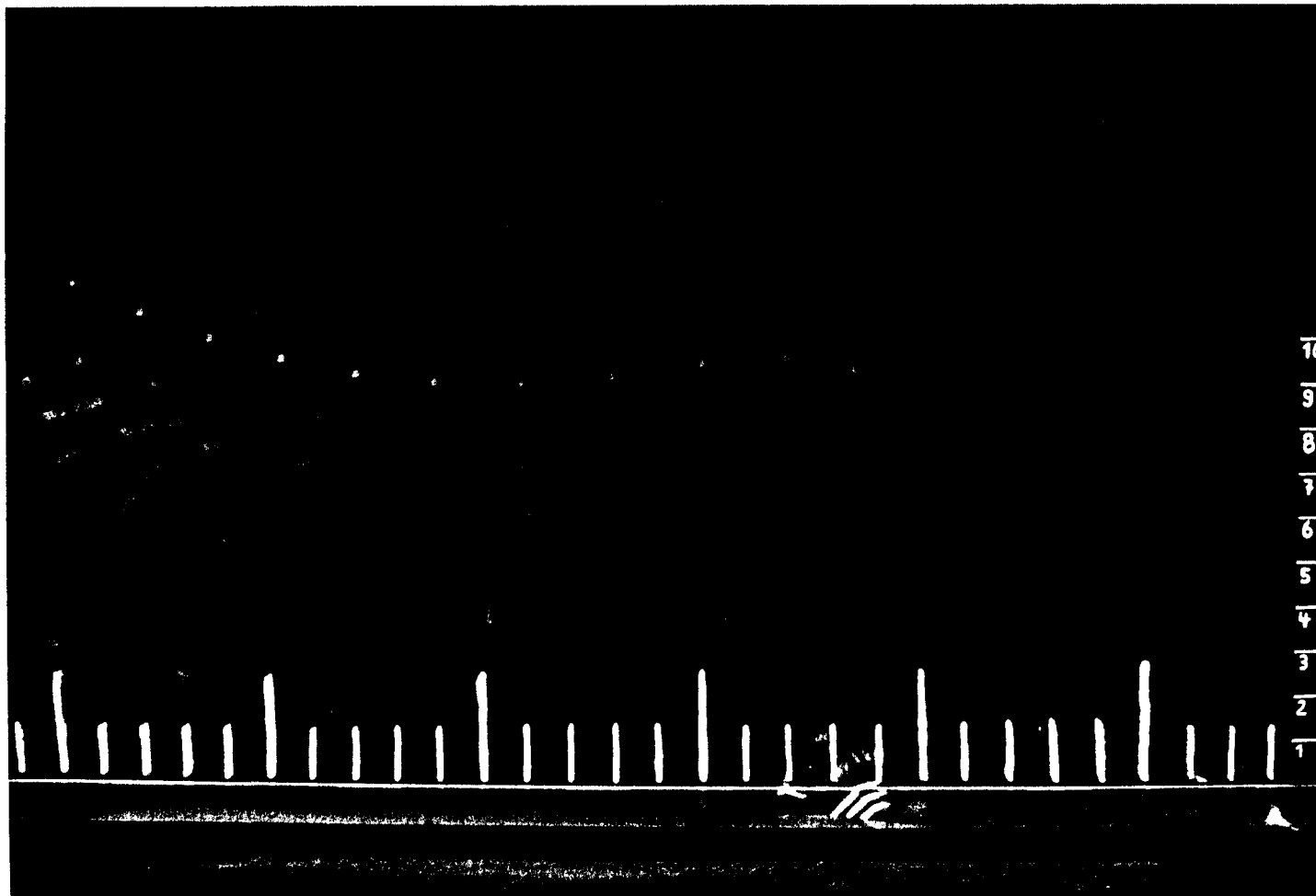
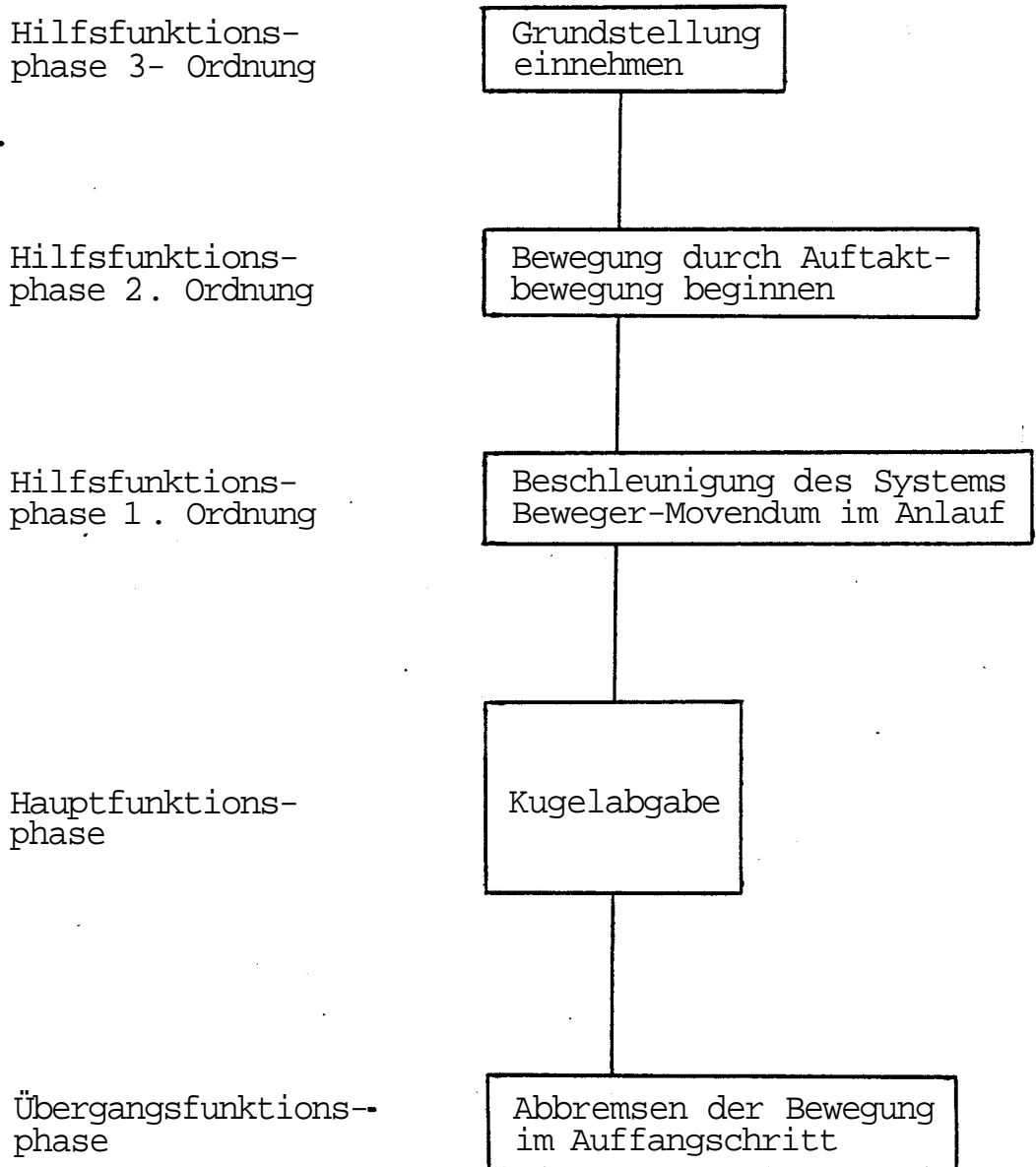


Abb.22
Kegler B
Ende der
Bewegung



abgabe ist der Blick beider Kegler auf den Fixierpunkt gerichtet. Danach geht der Kopf wieder leicht in den Nacken, die Hand wird, da die Schulterachse Drehachse für den Wurfarm darstellt nach vorne oben gezogen. Mit einem kleinen weiteren Schritt nach vorne oder schräg nach vorne wird der Körper abgebremst, und dabei nach vorne aufgerichtet. Dieser Schritt ist deshalb wichtig, weil der Bewegungsfluß nach vorne somit fortgesetzt wird und die Gesamtbewegung beim Kugelabgeben nicht abrupt abgebrochen wird, und weil ein Amortisieren der gesamten Anlaufenergie durch den dritten Anlaufschritt eine zu große Belastung für Knie- und Fußgelenk des linken Beines mit sich bringen würde, und auf die Dauer dadurch Schädigungen des Bewegungsapparates unvermeidbar wären. Der Gegenarm stabilisiert die gesamte Bewegung und zum Zeitpunkt der Kugelabgabe ist er nach hinten außen gestreckt.

5.4 Graphische Darstellungodes Bewegungsab-
laufes an Handoeines Funktionsphasenmodelleso



5.5 Welche Verlaufsmerkmale lassen sich für die verschiedenen Funktionsphasenoperationen angeben
ss ss st

Nachdem nun bei den beiden **Bewegungsausführungen** die Vielfalt der funktionserfüllenden Bewegungsoperationen ermittelt wurden, wird in einem weiteren Schritt auf Verlaufsbesonderheiten dieser Operationen der beiden Bewegungen eingegangen. Das wird deshalb **notwendig**, weil die bisherigen Überlegungen nur wenig über einen zeitlichen Verlauf aussagen. Es kann zwar eine begründete Reihenfolge von Grundstellung, Auftakt, Anlauf, Kugelabgabe und Aufgangsschritt festgelegt werden, und es läßt sich daraus auch eine zeitliche Aufeinanderfolge dieser einzelnen Teilphasen zur Gesamtbewegung erkennen. Darüber hinaus fehlen aber Überlegungen, die eine Verlaufscharakteristik beider Kegelbewegungen zu Beginn, während und gegen Ende der **jeweiligen** Funktionsphasenoperationen in zeitlicher, lagebedingter und energetischer Hinsicht betrachten. Dies soll nun als letzter Untersuchungsschritt noch vorgenommen werden.

5.5.1 Verlaufsmerkmale bei der Grundstellung und dem Auftakt

Dadurch, daß die Grundstellung nur eine statische und keine dynamische Bewegung ist, hat der Kegler auch recht viel Zeit diesen Operationsverlauf so zu gestalten, daß er die günstigste energetisch und lagebedingte Ausgangsposition für die Kugel und sich selbst einnehmen kann. Kegler A und Kegler B nutzen

die aufrechte Grundstellung als günstige Voraussetzung für eine hohe **Körperschwerpunktlage**, und um dadurch der Kugel am gestreckten seitlich vom Körper gehaltenen Spielarm eine möglichst hohe potentielle Anfangsenergie zu verleihen. Der Beschleunigungsweg der Kugel wird durch die dazugewonnene Höhe zur Wegstrecke des Anlaufs vergrößert. Bedingt durch Körpergröße und Länge des Spielarmes besitzt die Kugel von Kegler B (Größe: 1,9 m) gegenüber der Kugel von Kegler A (Größe: 1,8 m) mehr potentielle Energie (Kugel von Kegler B: 25,6 Nm bei einer Höhe von 0,9 m, Kugel von Kegler A: 24,18 Nm bei einer Kugelhöhe von 0,85 m).

Da die Grundstellung eine statische Bewegung darstellt, kann der Kegler über den zeitlichen Beginn des Bewegungsanfangs durch Einleiten der Auftaktbewegung frei verfügen. Der Kegler ist in der Ausführung seiner Auftaktbewegung keinem, durch die Schnelligkeit und Kürze der Bewegung entstehenden Bewegungszwang, wie bei den nachfolgenden Bewegungsphasen unterworfen. Je langsamer und kontrollierter der Auftakt ausgeführt werden kann, desto besser gelingt eine exakte Ausführung der nachfolgenden Bewegungsteile.

Kegler A:

Der Spielarm mit Kugel erfährt eine rasche Beschleunigung bis auf eine Geschwindigkeit von ca. $1,4 \frac{m}{s}$ (siehe Graph 4) und wird dann ebensoschnell wieder am höchsten Punkt abgebremst. Die durch die Vorwärtspendelbewegung gewonnene potentielle Energie der Kugel durch das Anheben auf eine Höhe von ca. 1,15 m bedeutet einen Höhengewinn von 0,3 m gegenüber der Ausgangsstellung und ein Energiezuwachs von 8,53 Nm auf 32,71 Nm. Durch das Vorführen des Spielarmes

erfahren Schultern und Kopf auch eine Beschleunigung, die aber in der Auftaktbewegung noch nicht abwärts gerichtet ist. Am Ende der Auftaktbewegung wird die Kugelgeschwindigkeit wieder bis auf $0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ abgebremst, ...
Kegler B:

Hier verläuft die Bewegung energetisch und lagebedingt etwas anders ab. Durch ein leichtes Senken des Oberkörpers verliert die Kugel in dem Anfangsbereich des Auftaktes $1,4 \text{ Nm}$ potentielle Energie durch ein Absenken um $0,05 \text{ m}$. Diese Bewegung von Oberkörper und Kugel ist nach vorne unten gerichtet. Ihr schließt sich eine Aufwärtsbewegung des Oberkörpers an, wobei hier der Spielarmpendel nach vorne oben geführt wird, bis auf eine maximale Geschwindigkeit in diesem Bereich von $1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (siehe Graph 5). Und im Endpunkt der Auftaktbewegung hat die Kugel bei einer Geschwindigkeit von $0,65 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ eine Höhe von ca. $1,05 \text{ m}$ erreicht. Dies bedeutet, daß die Kugel einen effektiven Höhengewinn von $0,15 \text{ m}$ und somit einen Zuwachs an potentieller Energie von $4,26 \text{ Nm}$ auf $29,86 \text{ Nm}$ erreicht.

Zu Beginn der Auftaktphase wird bei beiden Keglern die Ferse des linken Fußes den Bodenkontakt lösen, um den Fuß kurz vor Ende der Auftaktbewegung ganz vom Boden zu lösen. So beginnt sich der linke Fuß am Ende des Auftaktes, im Übergang zur Beschleunigungsphase des Systems flach über die Anlaufbohle nach vorne zum ersten Schritt zu bewegen. Da durch die Pendelbewegung des Spielarmes der Oberkörper auch eine leichte Verschiebung nach vorne mitmacht, führt dies zu einer Vorverlagerung des Körperschwerpunktes. Dieses Vorverlagern des Körperschwerpunktes ist gering, jedoch bei beiden Keglern so groß, daß

sie am Ende der Auftaktbewegung zum Beginn des ersten Schrittes führt.

5.5.2 Verlaufsmerkmale des Anlaufs

Hat die Kugel durch die Vorwärts-Aufwärtsbewegung des Pendels den höchsten Punkt erreicht, so ist der Beginn, Verlauf und das Ende der anschließenden Operationen des Anlaufes, durch die instabile Gleichgewichtslage, hervorgerufen durch den nach vorne verlagerten Körperschwerpunkt und den dadurch auftretenden Bewegungszwang, nicht mehr aufzuhalten. Ein Teil der motorischen Hauptphase (Hilfsfunktionsphase erster Ordnung) wird nun eingeleitet. Sie kann kaum noch einer willentlichen zeitlichen Verzögerung oder Korrektur unterworfen werden, da diese Phase **einer** starken zeitlichen Begrenzung unterliegt.

Bei Kegler A beginnt das Absenken der Kugel und das damit verbundene Zurückführen des Spielarmes kurz vor dem Aufsetzen des linken Fußes, der Beendigung des ersten Schrittes. Hier ist es für den Kegler schwer, diese Phase am Anfang des Anlaufes langsam auszuführen, und wirklich einen kleinen Schritt zu machen (Kegler A: **erster** Schritt 1 m). Die genaue optimale Länge der einzelnen Schritte im Verhältnis zum ganzen Anlauf und zur Körpergröße wäre das Thema einer weiteren Querschnittsuntersuchung. Das linke Bein ist während des Schrittes nur leicht gebeugt, gibt jedoch im Kniegelenk im Verlaufe der Vorwärtsbewegung des gesamten Bewegungssystems nach. Während sich die Kugel am Spielarm weiter abwärts und nach hinten

bewegt, erfährt der Oberkörper eine stärkere Beschleunigung nach vorne unten, überholt die Kugel, die immer noch seitlich am Körper zurückgeführt wird. Im Graph 4 von Kegler A wird aus der vektoriellen Geschwindigkeitsaufzeichnung gut ersichtlich, daß die Kugel eine rückwärts gerichtete Bewegung, bedingt durch das Zurückschwingen des Spielarmpendels, durchmacht, und somit eine Umkehrung von Kugelgeschwindigkeit und Beschleunigung beim Zurückführen der Kugel entsteht. Diese negative Beschleunigung führt im unteren Totpunkt dieser "ellipsenähnlichen" Kugelbeschleunigungsbahn zu einem Geschwindigkeitsmaximum, daß der Anlaufrichtung entgegengerichtet ist. Kurz nachdem die Kugel den unteren Totpunkt durchlaufen hat, wirkt sich diese, durch das Hochführen der Kugel auf der elliptischen Bahn, bremsende Kraft auch auf die Abwärtsgeschwindigkeit des Oberkörpers aus. Dies wirkt der beschleunigenden Kraft des gesamten Systems entgegen. Es kommt somit zu einer geringen Geschwindigkeitsabnahme der Abwärtsbewegung des Oberkörpers, weiterhin wird dies begünstigt durch die Stützfunktion, die das linke Bein in diesem Moment ausübt, wobei der rechte Fuß in dieser Phase den Bodenkontakt verliert, um nach vorne geführt zu werden. Die Verlangsamung der Oberkörperabsenkung wirkt sich so lange aus, wie die negative beschleunigende Kraft der Kugel, die auf den gesamten beschleunigenden Körper übertragen wird, besteht. Erst dann, wenn sie wieder in eine positive beschleunigende Kraft übergeführt wird, nimmt auch die Abwärtsgeschwindigkeit des Oberkörpers, bzw. des ganzen Systems wieder zu. Begünstigt wird die weitere Geschwindigkeitszunahme des

ganzen Systems durch das rasche Vorführen des rechten Beines. Diese Bewegung fällt mit der Umkehr der negativ beschleunigenden Kraft der Kugel in eine positiv beschleunigende Kraft zusammen. Hier findet das Aufsetzen des rechten Fußes, als zweiter Schritt (Länge 1,25 m), kurz vor dem Durchlaufen des höchsten Punktes der Kugelbeschleunigungskurve statt. Bei Kegler A ist die Kugel in der Kugelschleife am unteren Umkehrpunkt um 0,65 m gegenüber dem höchsten Punkt des Auftaktes von 1,15 m abgesenkt, dies bedeutet einen zeitweiligen Verlust an potentieller Energie von 18,49 Nm. Im zweiten oberen Punkt, am Ende der Kugelschleife, ist die Kugel wieder um 0,8 m auf eine Höhe von 1,3 m angehoben worden, was eine Zunahme an potentieller Energie um 22,75 Nm auf 36,98 Nm ergibt. Der Oberkörper hat nun seine tiefste Lage erreicht und strebt nicht mehr weiter nach unten. Er befindet sich **jetzt** parallel zum Fußboden, seine beschleunigende Kraft ist nun, wie die des gesamten Körpers nach vorne gerichtet. Die Geschwindigkeit des Bewegungssystems nimmt weiter zu, und wenn die Kugel nun aus der Kugelschleife auf die Endbeschleunigungsbahn herunterkommt, so wird kurz nach dem Aufsetzen des rechten Fußes der linke Fuß vom Boden gelöst und nach vorne gebracht. Das Aufsetzen des linken Fußes zum dritten Schritt (Länge 2 m) erfolgt dann, wenn die Kugel am Spielarm nach vorne unten gezogen wird. Das weite nach vorne Aufsetzen des linken Fußes bewirkt einmal, daß sich der Oberkörper, da sich die Kugel noch hinter dem Körper befindet, leicht anhebt, zweitens, daß das System eine weitere Beschleunigung, unterstützt durch eine Streckung des

rechten Kniegelenkes, erfährt. Das Aufsetzen des linken Fußes wird gleichzeitig mit einem leichten Abstoppen der gesamten nach vorne gerichteten Bewegung verbunden. Dies wirkt sich als Impulsübertragung beschleunigend auf die Bewegung des Spielarmpendels und der Kugel aus (siehe Graph 2).

Kegler B:

Auch hier beginnt mit dem Absenken des Oberkörpers und dem damit verbundenen Absenken der Kugel das Aufsetzen des linken Fußes zum ersten Schritt (Länge 0,86 m). Das linke Bein ist während dieses Schrittes nur leicht gebeugt, auch hier gleicht die Bewegung mehr einem nach vorne Schleifen als einem Gehschritt. Während nun der Oberkörper rasch nach vorne unten geht, und das linke Bein zum Stützbein wird, wird der Spielarmpendel, der in der Auftaktbewegung nach vorne gebracht wurde nicht wie bei Kegler A zurückgeführt. Sondern die Bewegung wird am oberen Punkt der Auftaktbewegung praktisch abgestoppt. So ist die Bahnkurve der Kugel nur nach unten gerichtet, sie wird nicht in eine Kugelschleife übergeführt. Dieses Absenken auf eine Höhe im tiefsten Punkt von ca. 0,5 m bewirkt im Vergleich zur potentiellen Energie des höchsten Punktes im Auftakt einen Verlust an Energie von 15,64 Nm. Der Oberkörper geht weiter nach vorne unten und der rechte Fuß verläßt kurz vor dem Umkehrpunkt der Kugel von der vertikalen in die horizontale Bewegungsrichtung den Boden, um schnell nach vorne geführt zu werden. Zum Zeitpunkt des Umkehrpunktes (siehe Abb.19) fällt die Kugelgeschwindigkeit sehr stark ab. Während der rechte Fuß am linken Bein vorbeigeht, richtet sich der Oberkörper etwas auf,

wobei die Kugel während dieser Aufwärtsbewegung wieder etwas angehoben wird, und somit wieder eine beschleunigende Kraft in horizontaler Richtung erfährt. In der Vorhoch-Tief Bewegung des zweiten Anlaufschrittes läuft der Kegler B buchstäblich an der sich nur langsam nach vorne bewegenden Kugel vorbei. Die Vorhoch-Tief Bewegung des Keglers verläuft schneller als sie die Kugel durch diese Bewegung mitbeschleunigt. Der Spielarm bleibt mit der Kugel zurück und wird dadurch gleichzeitig wieder bis auf eine Höhe von 0,7 m angehoben. Dies bedeutet einen Zuwachs an potentieller Energie gegenüber dem unteren Totpunkt von 5,69 Nm, jedoch entspricht dies im Vergleich zur potentiellen Energie des obersten Punktes im Auftakt einer Abnahme der gesamten potentiellen Energie um 9,95 Nm auf 19,92 Nm. Wenn der rechte Fuß aufsetzt, hat die Kugel den zweithöchsten Punkt ihrer Beschleunigungskurve bereits durchlaufen, die Kugel bleibt dabei nur wenig hinter dem Körper des Keglers zurück. Da die Kugel nach dem Durchlaufen des Umkehrpunktes erst wieder beschleunigt werden mußte, fiel auch die Geschwindigkeit des Oberkörpers, bzw. der Schulter ab. Das linke Bein löst sich erst dann vom Boden ab, wenn der Oberkörper über dem rechten Bein ist, um zum dritten Schritt (Länge 2,15 m) nach vorne zu greifen, wobei der Oberkörper noch einmal nach vorne unten beschleunigt wird. Der weit nach vorne greifende Fuß bewirkt wie bei Kegler A nochmals eine Beschleunigung des gesamten Systems Kegler-Kugel, und auch hier findet durch das stemmende und abbremsende Fußaufsetzen eine Impulsübertragung auf die am Spielarmpendel geführte Kugel statt (siehe Graph 2).

5.5.3 Verlaufsmerkmale der Kugelabgabe und des Aufschrittes

Die Gesamtbewegung zielt in ihrer ganzen Ausführung auf diesen Abschnitt der Bewegung hin. Die Kugelabgabe wird durch den letzten Anlaufschritt eingeleitet, um einerseits eine möglichst hohe Horizontalbeschleunigung für das bewegte System zu erhalten, und um andererseits diese zusätzliche Beschleunigung im Aufsetzen des linken **Fußes** durch eine Impulsübertragung nochmals auf die Kugel zu übertragen. Durch diesen langgezogenen Ausfallschritt kann auch der Körperschwerpunkt zum Zeitpunkt der Kugelabgabe sehr niedrig gelagert werden, was dem Kegler die Möglichkeit verschafft, die Kugel sehr lange nachzuführen.

Kegler A :

Hier läßt sich beobachten, daß nach der Impulsübertragung zwischen Kugel, Schulter und Kopf eine fast horizontale Linie gezogen werden kann. Neben der beschleunigenden Kraft, die durch die Gewichtskraft und die Fallhöhe und die Anlaufgeschwindigkeit vorhanden ist, kommt nun noch eine beschleunigende Muskelkraft hinzu. Dies wird dadurch ersichtlich, daß die Schulter im Gegensatz zum Kopf weiter beschleunigt wird, und dieser bedingt durch das Vorbringen der Schulter etwas angehoben wird. Der Kopf wird aber, um ein langes Nachführen der Kugel mit der Spielhand zu gewährleisten, bei der Kugelabgabe nochmals gesenkt. Der Winkel zwischen Oberschenkel des Ausfallschrittbeines und dem Oberkörper wird in diesem Moment sehr klein. So kann eine kontrollierte Kugelabgabe erfolgen. Hat die Kugel ca. 0,2 m nach

dem Vorbeiführen der Kugel am linken Fuß die Hand des Keglers verlassen, so ist der Kugelabwurf beendet. Die Hand befindet sich dann, da der Spielarm ja als Pendel fungiert, in einer Aufwärtsbewegung. Zusammen mit dem Anheben des Kopfes wird das rechte Bein, das sich kurz vor der Kugelabgabe vom Boden gelöst hat, nach vorne gebracht. Dieser Schritt ist ungefähr etwas kleiner als der erste Schritt und dabei richtet sich der ganze Körper langsam auf. Dieses Auffangen des vorwärtsstrebenden Keglers beendet den gesamten motorischen Bewegungsablauf.

Kegler B:

Hier wird die Kugel, bedingt durch die Beschleunigungskurve der Kugel, wesentlich tiefer zur Kugelabgabe geführt, was eine niedrigere Endgeschwindigkeit und einen wesentlich höheren Kraftaufwand der Muskulatur erfordert. Auch hier ist wie bei Kegler A nach der Impulsübertragung eine Geschwindigkeitszunahme zu beobachten, hier wird der Impuls jedoch nicht so wirkungsvoll übertragen, da die Amplitude des Spielarmpendels wesentlich geringer ist als bei Kegler A. Auch hier kann eine Muskelkraft, die zur weiteren Beschleunigung des Movendums dient, registriert werden. Auch nimmt die Geschwindigkeit der Schulter bis zur Kugelabgabe weiter zu, und der Kopf wird auch hier infolge des Vorschiebens der Schulter- etwas angehoben. Zur Kugelabgabe wird er aber, um die Kugel lange nachführen zu können und um die Aufwärtsbewegung zum Auffangschritt nicht schon jetzt einzuleiten, wieder gesenkt. Kegler B führt die Kugel auch nur ca. 0,1 m nach dem Passieren des linken Fußes mit der Hand nach, da die Geschwindigkeit der Kugel bei Kegler B auch nicht

so groß ist. Der Auffangschritt wird auch hier wie bei Kegler A zwangsläufig durch den nach vorne verlagerten Körperschwerpunkt, durch den aufwärtsgerichteten Impuls des Spielarmpendels auf den Körper und durch das Anheben des Kopfes, das zur Hohlkreuzhaltung des Keglers führt, eingeleitet, und wie bei Kegler A durchgeführt.

Auf Grund der verschiedenen Beschleunigungswegkurven der beiden Kugeln bei Kegler A und Kegler B ergeben sich auch unterschiedliche Kugelabgabegeschwindigkeiten. So hat Kegler A, bedingt durch die Kugelschleife in der Beschleunigungsbahn der Kugel eine Kugelgeschwindigkeit bei der Kugelabgabe von $16,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und Kegler B von nur $13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ obwohl sich ihre Körpergeschwindigkeiten (hier Schulter) zu diesem Zeitpunkt kaum voneinander unterscheiden, Kegler A: $7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und Kegler B: $6,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1 Vergleich und Bewertung beider analysierter Bewegungsabläufe im Sportkegeln

Wenn wir jetzt zu einem Vergleich und zu einer Bewertung der beiden Bewegungsausführungen kommen, so muß zuerst einmal eine Vergleichsgrundlage herangezogen werden, die in der Biomechanik schon als allgemeingültig angesehen werden kann. Diese Grundlage sollen hier die biomechanischen Prinzipien von Hochmuth darstellen.

Es drängt sich nun die Frage auf, welche der Hochmuth'schen Prinzipien können für das Sportkegeln,

und dabei sollte die durchgeführte Untersuchung mit ihren Auswertmöglichkeiten nicht vergessen werden, bei einem Vergleich beider Bewegungen Verwendung finden.

Gehen wir einmal die vorhandenen übergreifenden Kriterien durch, so kommen für unsere Bewegung nur das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges, das Prinzip der Anfangskraft und das Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf in Frage. (vgl. Hochmuth, G. 1981, S.154-172)

Die weiteren Hochmuth'schen Prinzipien könnten eventuell nur mit Einschränkungen, auf Grund der Intention und des Charakters der durch die Bewegung und die Untersuchung gegebenen Möglichkeiten, Anwendung finden. Deshalb werden sie im weiteren Verlauf des Vergleiches nicht berücksichtigt.

Wenden wir nun das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges auf die beiden Bewegungen an, so muß man sich auch vor Augen halten, daß das Trefferergebnis beim Sportkegeln nicht unbedingt von einer Maximierung der Kugel- oder Anlaufgeschwindigkeit abhängt. Da bei der Gestaltung des Anlaufes, hier ist speziell die Länge der einzelnen Schritte im Verlauf des Drei-Schritte-Anlaufes gemeint, bei beiden Keglern keine großen Unterschiede festzustellen sind, werden wir uns **jetzt** dem signifikanten Unterscheidungsmerkmal, nämlich der Kugelführung, widmen.

Betrachten wir nun diese beiden Bewegungen, so kann man auf Grund der Kugelschleife bei Kegler A einen weitaus längeren Beschleunigungsweg der Kugel gegenüber Kegler B feststellen, obwohl sich die Länge beider Anläufe kaum unterscheidet. Als Ausgangs- und End-

punkte sind hier: der erste meßbare Punkt der Kugelbewegung im Auftakt und der Punkt, wenn die Kugel bei der Kugelabgabe am linken Bein vorbeigeführt wird, festgelegt worden. So besitzt der Beschleunigungsweg der Kugel von Kegler A 5,57 m gegenüber der Kugel von Kegler B mit 4,78 m. Da es, wie schon gesagt, nicht auf eine Maximierung der Kugelgeschwindigkeit ankommt, können wir nicht schon hier eine positive Bewertung für den längeren Beschleunigungsweg der Kugel bei Kegler A machen.

Da nach Hochmuth die kinetische Energie eines Beschleunigungsvorganges mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst, ist es aus energetischer Sicht nicht gleichgültig, ob ein bestimmter Geschwindigkeitsanstieg bei einem niedrigen oder hohen Geschwindigkeitsniveau stattfindet. Weiterhin muß, wie im vorliegenden Fall bei Kegler B zu sehen ist, die Kugel somit auch auf einem weitaus kürzeren Weg auf die Kugelabwurfgeschwindigkeit gebracht werden, da die Kugelgeschwindigkeit im Umkehrpunkt der Kugel, während des Anlaufes, ja auf fast $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ absinkt. So muß Kegler B (siehe dazu auch Graph 3) der Kugel eine wesentlich höhere durchschnittliche Beschleunigung auf diesem Wegabschnitt zuteil werden lassen. Dies erfordert in diesem Kugelbeschleunigungsabschnitt von Kegler B mehr Energie durch Muskelarbeit, da zudem das potentielle Energieniveau auch sehr niedrig ist. Somit besteht bei diesem Beschleunigungsverlauf die Gefahr, daß der Kegler während der Kugelabgabe, durch einen vermehrten Kraft Einsatz des Armes, die Kugel verreit oder verzieht, und dies somit als negativ angesehen werden muß. Kegler A erreicht mit seiner Kugelschleife einen weitaus günstigeren und kontinuierlicheren Geschwindigkeits-

verlauf der Kugel. Er erzielt bei weniger Kraftaufwand, wie schon beschrieben wurde, einen gleichmäßigeren Beschleunigungsverlauf der Kugel mit einer höheren Kugelabgabegeschwindigkeit, und dadurch ist die Gefahr des Yerreißens der Kugel nicht so groß.

Das Prinzip der Anfangskraft ist hier so zu verstehen, daß es bei der Kegelbewegung nicht auf einen maximalen Beschleunigungsstoß der Kugel am Ende ihres Beschleunigungsweges ankommt, sondern daß die Kugel über einen möglichst langen Beschleunigungsweg eine gleichbleibend hohe Kraft erfährt, und die Kugel ihre jeweils maximale Kugelgeschwindigkeit im Moment der Kugelabgabe nicht noch einmal aus einem übermäßig starken Beschleunigen des Spielarmpendels erhalten soll. Somit sind bei Kegler A bessere Voraussetzungen geschaffen, um über eine Distanz von 200 Wurf ermüdungsfreier kegeln zu können, und daß dadurch auch die Kräfte im Wettkampf besser eingeteilt werden können.

Da hier weder ein Beschleunigungsweg in kürzester Zeit noch mit dem Beschleunigungsweg die größte Endgeschwindigkeit erreicht werden muß, wird das Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf bei der Bewegung des Sportkegler so verstanden, daß es beim Beschleunigungsverlauf der Kugel darauf ankommt, daß er kontinuierlich durchgeführt wird. Dies soll heißen, daß es bei der Kugelbeschleunigung nicht zu großen Unterschieden oder Schwankungen in der Kugelgeschwindigkeit bis hin zum Abwurf kommt.

So sehen wir bei Kegler A, bedingt durch die Kugelschleife, einen wesentlich kontinuierlicheren Geschwindigkeitsverlauf wie bei Kegler B. Bei ihm wird die Kugel praktisch zwei Mal bis auf eine maximale Geschwindigkeit gebracht (Auftakt und Kugelabgabe), wobei die Kugelgeschwindigkeit nach dem Auftakt fast wieder ganz

abgebremst wird (siehe Graph 2, 2a und 5). Der Auftakt hat somit für den Beschleunigungsverlauf der Kugel praktisch keine reale Funktion, da die Geschwindigkeit der Kugel so stark abnimmt, daß sie wieder ganz von neuem beschleunigt werden muß. Dem Auftakt kommt hier nur eine zeitliche Steuerung des Bewegungsbeginnes zu, ohne daß dadurch auch schon für die Kugel eine günstige Ausgangsposition zur Weiterbeschleunigung geschaffen wird.

Bei Kegler A sehen wir einen wesentlich besseren und flüssigeren Übergang zwischen Kugelführung im Auftakt und der Weiterführung der Kugel bis hin zur Kugelabgabe« In der Kugelschleife sinkt die Kugelgeschwindigkeit zwar auch ab, aber die negativ beschleunigende Kraft wirkt sich hier vorteilhaft auf eine gleichmäßigere Kugelbeschleunigung aus.

Betrachten wir zum Schluß noch die Kennlinien von Schulter und Kopf, so kann man sagen, daß Kegler A, bedingt auch durch seine Kugelführung, eine stetigere nach vorne unten Beschleunigung des gesamten Körpers (Oberkörper-Schulter) ohne Hoch-Tief Bewegung, wie bei Kegler B zu sehen ist, erreicht (siehe dazu Graph 2a von Kegler A und Kegler B).

So läßt sich feststellen, daß der Übergang zwischen Auftakt der Kugel und Vorwärtsbewegung des gesamten Systems zur Weiteren Kugelbeschleunigung einen kritischen Punkt in der Gesamtbewegung darstellt, und daß die Kugelführung somit ausschlaggebend ist für die Kontinuität des gesamten Bewegungsablaufes. So wird der Bewegung von Kegler A, nach dem Vergleich beider Bewegungen, ein größerer Stellenwert beigemessen als der Bewegungsablauf von Kegler B. In wie weit jetzt diese Bewegung von Kegler A als optimal angesehen werden kann, müßte in einer Querschnittsuntersuchung mit weiteren Bewegungen untersucht werden.

7.1 Urlisten

Kegler A Einheit in cm Maßstab: 1 : 7,69

Gesamtbewegung	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	S ₂₀	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃
~Kopf Absolut	3,07	3,84	4,61	6,92	9,22	12,3	15,38	19,22	21,53	22,3	18,45	17,68	17,68	19,22	23,83	29,99	33,83	34,6	37,68	42,29	43,06	39,76	—
Schulter Abs.	3,07	3,46	3,84	6,92	9,99	13,07	16,14	17,68	18,84	15,38	14,61	15,76	18,84	23,07	28,45	33,06	35,37	39,21	43,83	44,98	44,6	43,06	—
Kugel Abs.	6,92	3,84	2,3	2,3	7,3	9,22	14,61	16,14	16,14	10,38	6,92	10,76	14,99	18,07	19,22	20,76	23,83	28,45	40,37	56,90	76,9	87,66	115,35
Kopf Vektoriell	3,07	3,84	4,61	6,53	9,22	11,15	13,84	17,68	19,22	19,99	16,53	16,14	16,53	17,68	23,07	29,99	33,06	34,6	37,29	42,29	41,52	39,76	—
Schulter vekt.	3,07	3,46	3,84	5,88	6,92	8,45	11,15	13,84	14,99	18,07	14,61	14,61	15,76	18,45	22,68	28,06	32,29	34,98	38,45	53,83	49,75	42,29	42,67
Kugel vekt.	4,61	3,84	2,3	0,76	3,46	2,69	-1,53	-1,53	-4,61	-6,92	-6,92	-2,3	2,69	8,45	13,07	17,68	23,83	26,91	33,83	46,9	67,67	85,35	114,58
Beginn d. Bew.					Maßstab: 1 : 3,67																		
Kopf Abs.	—	—	—	—	—	—	—	—	13,57	17,24	21,28	23,85	22,2	18,9	17,24	17,06	18,21	23,48	—	—	—	—	—
Schulter Abs.	2,56	3,3	3,85	4,03	4,77	5,5	6,6	8,62	11,37	14,12	17,24	18,35	17,24	15,78	13,57	15,41	18,35	22,75	29,54	—	—	—	—
Kugel Abs.	14,49	13,57	11,01	7,34	5,87	7,34	10,64	14,12	15,59	15,78	13,02	10,27	13,02	16,51	20,18	22,75	25,32	28,62	31,92	43,67	13,57	—	—
Kopf vekt.	—	—	—	—	—	—	—	—	12,47	15,59	19,08	21,46	20,18	17,24	16,51	16,14	17,98	22,75	—	—	—	—	—
Schulter vekt.	2,38	3,11	3,67	4,03	4,58	5,5	6,23	8,07	10,09	12,11	14,68	16,14	16,14	15,04	13,39	15,23	17,98	22,38	28,99	—	—	—	—
Kugel vekt.	xv	19,64	8,62	6,97	6,05	4,4	2,2	0	-4,03	-8,8	-11,74	-8,44	-2,56	3,48	9,9	16,51	22,75	28,25	30,46	36,33	—	—	—

Kegler A Einheit in $\frac{m}{s}$

Gesamtbewegung	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v ₈	v ₉	v ₁₀	v ₁₁	v ₁₂	v ₁₃	v ₁₄	v ₁₅	v ₁₆	v ₁₇	v ₁₈	v ₁₉	v ₂₀	v ₂₁	v ₂₂	v ₂₃
Kopf Abs.	0,37	0,46	0,55	0,83	1,1	1,47	1,84	2,3	2,58	2,67	2,21	2,12	2,12	2,3	2,86	3,6	4,06	4,15	4,52	5,07	5,16	3,69	—
Schulter Abs.	0,37	0,41	0,46	0,83	1,2	1,57	1,93	2,12	2,26	1,65	1,75	1,89	2,26	2,77	3,41	3,97	4,24	4,7	5,26	5,4	5,35	5,16	—
Kugel Abs.	0,83	0,46	0,27	0,27	0,87	1,1	1,75	1,93	1,93	1,24	0,83	1,29	4,9	2,17	2,3	2,49	2,86	3,41	4,84	6,83	9,23	10,52	13,84
Kopf vekt.	0,37	0,46	0,55	0,78	1,1	1,34	1,66	2,12	2,3	2,4	1,98	1,93	1,98	2,12	2,77	3,6	3,97	4,15	4,47	5,07	4,98	3,69	—
Schulter vekt.	0,3	0,41	0,46	0,64	0,83	1,01	1,33	1,66	1,8	2,17	1,75	1,75	1,89	2,21	2,72	3,36	3,87	4,2	4,61	5,26	4,89	5,07	5,12
Kugel vekt.	0,55	0,46	0,27	0,09	0,41	0,32	-0,18	-0,18	-0,55	-0,83	-0,83	-0,27	0,32	1,01	1,57	2,12	2,86	3,23	4,06	5,63	8,12	10,24	13,74
Beginn d. Bew.																							
Kopf Abs.	—	—	—	—	—	—	—	—	1,62	2,07	2,55	2,8	2,66	2,27	2,07	2,04	2,24	2,82	—	—	—	—	—
Schulter Abs.	0,3	0,4	0,46	0,48	0,57	0,66	0,79	1,03	1,36	1,69	2,07	2,2	2,07	1,89	1,63	1,85	2,2	2,73	3,54	—	—	—	—
Kugel Abs.	1,74	1,63	1,32	0,88	0,7	0,88	1,27	1,69	1,87	1,89	1,56	1,23	1,56	1,98	2,42	2,73	3,04	3,43	3,83	5,24	—	—	—
Kopf vekt.	—	—	—	—	—	—	—	—	1,49	1,87	2,29	2,57	2,42	2,07	1,98	1,94	2,16	2,73	—	—	—	—	—
Schulter vekt.	0,28	0,37	0,44	0,48	0,55	0,66	0,75	0,97	1,21	1,45	1,76	1,94	1,94	1,8	1,6	1,83	2,16	2,68	3,48	—	—	—	—
Kugel vekt.	1,45	1,27	1,03	0,83	0,72	0,53	0,26	0	-0,48	-1,05	-1,41	-1,01	-0,31	0,42	1,19	1,98	2,73	3,31	3,65	4,36	—	—	—

Kegler A

Einheit in cm

Ende d. Bew.	s_J	s_H	s_G	s_F	s_E	s_D	s_C	s_B	s_A	s_{A^1}	s_{A^2}	s_{A^3}	s_{A^4}	s_{A^5}										
Kopf Abs.	17,24	14,71	19,08	20,92	22,39	23,19	23,12	19,45	16,15	15,05	12,48	10,27	10,27	—										
Schulter Abs.	—	19,08	21,65	22,75	25,14	27,16	26,42	24,22	19,82	15,05	—	—	—	—										
Kugel Abs.	—	—	—	—	43,67	50,28	51,75	62,76	—	—	—	—	—	—										
Ende d. Bew.	v_J	v_H	v_G	v_F	v_E	v_D	v_C	v_B	v_A	v_{A^1}	v_{A^2}	v_{A^3}	v_{A^4}	v_{A^5}	Einheit in	$\frac{m}{s}$								
Kopf Abs.	4,48	4,86	4,96	5,44	5,82	6,11	6,01	5,05	4,2	3,91	3,24	2,67	2,67	—										
Schulter Abg.	—	4,96	5,63	5,91	6,53	7,06	6,87	6,27	5,15	3,91	—	—	—	—										
Kugel Abs.	—	—	—	—	11,35	13,07	13,45	16,22	—	—	—	—	—	—										
Gesambewegung	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}		
Kopf Abs.	1,08	1,08	3,36	3,24	4,11	4,44	5,52	3,36	1,08	-5,52	-1,08	0	2,16	6,72	8,88	5,52	1,08	4,44	6,6	1,08	-17,64	—		
Schulter Abs.	0,48	0,6	1,1	4,4	4,4	4,32	2,28	1,68	-7,32	1,2	1,68	4,44	6,12	7,68	6,72	3,24	5,52	6,72	1,68	-0,6	-2,28	—		
Kugel Abs.	-4,44	-2,28	0	7,2	2,76	7,8	2,16	0	-8,28	-4,92	5,52	6,36	4,44	1,56	2,28	4,44	6,6	17,16	23,88	28,8	15,48	39,84		

Einheit in $\frac{m}{s^2}$

Kegler B

Einheit in cm

Maßstab: 1 : 7,69

gesamtbewegung	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	S ₂₀	S ₂₁	S ₂₂	S ₂₃	
Kopf Absolut	4,61	3,46	2,69	1,53	4,91	3,84	7,63	11,15	14,99	19,22	21,53	21,91	20,76	18,45	18,45	24,22	30,37	35,68	37,37	36,52	38,06	42,29	35,75	
Schulter Abs.	5,38	4,61	3,84	2,3	3,07	3,07	4,61	7,69	9,99	13,07	16,91	18,07	18,45	18,07	16,14	16,14	20,76	28,83	34,6	38,45	38,45	43,06	55,75	
Kugel Abs.	6,92	8,45	9,22	10,76	9,22	8,45	6,15	6,92	9,22	13,07	14,61	14,61	11,15	5,38	5,76	14,61	19,22	22,68	32,29	45,37	59,59	77,66	138,42	
Kopf Vektoriell	4,61	3,46	2,69	1,53	1,53	3,84	7,3	10,76	13,84	16,91	19,6	19,6	19,22	17,68	18,45	24,22	29,99	33,83	34,98	34,98	37,68	41,91	35,75	
Schulter vekt.	5,38	4,61	3,84	2,3	3,07	3,07	4,22	7,3	9,22	11,91	14,61	15,76	16,53	16,91	15,38	16,14	20,76	28,83	33,06	35,37	36,91	42,67	55,36	
Kugel vekt.	6,53	8,45	8,84	9,22	7,69	7,3	6,15	5,76	5,76	5,38	2,69	0	2,3	1,53	4,61	12,3	17,3	23,07	31,52	33,82	56,9	74,97	138,42	
Beginn d. Bew.							Maßstab: 1 : 3,75																	
Kopf Abs.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12,37	15,93	17,62	18,75	19,5	17,62	16,87	17,62	23,25	28,82	
Schulter Abs.	1,5	1,12	3,18	3,37	3,18	2,62	2,25	2,25	1,87	2,25	3,75	6,18	8,62	11,25	11,81	15	16,12	16,31	16,31	16,62	16,31	20,62	27,93	
Kugel Abs.	2,62	2,25	5,25	7,12	8,25	9,37	9	6,75	5,62	5,62	7,12	9,18	11,06	10,87	9,37	5,25	3	4,87	9	14,62	18,75	22,12	28,5	
Kopf vekt.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,43	14,62	15,56	16,68	AS	16,87	16,12	17,62	23,25	28,87	
Schulter vekt.	1,12	0,75	2,62	3,37	3,18	2,62	2,06	1,5	1,68	2,25	3,56	6	8,25	10,31	12,18	13,12	14,25	15,18	15,75	14,25	16,12	20,43	27,75	
Kugel Abs.	0,93	2,25	5,06	7,12	7,5	8,06	8,06	6	5,62	5,25	4,5	3,93	2,62	1,87	0,75	0,93	1,31	4,5	8,25	12,75	17,62	21,93	28,12	

Kegler B

Einheit in $\frac{m}{s}$

Gesamtbewegung	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	v ₇	v _ö	v ₉	v ₁₀	v ₁₂	v ₁₃	v ₁₄	v ₁₅	v ₁₆	v ₁₇	v ₁₈	v ₁₉	v ₂₀	v ₂₁	v ₂₂	v ₂₃	
Kopf Abs.	0,55	0,41	0,31	0,18	0,23	0,46	0,92	1,33	1,79	2,3	2,58	2,62	2,49	2,21	2,21	2,80	3,64	4,24	4,56	4,38	4,56	5,07	4,29
Schulter Abs.	0,64	0,55	0,46	0,27	0,36	0,36	0,55	0,92	1,2	1,57	2,03	2,17	2,21	2,17	1,93	1,93	2,49	3,46	4,15	4,61	4,61	5,16	6,69
Kugel Abs.	0,83	1,01	1,1	1,29	1,1	1,01	0,73	0,83	1,1	1,56	1,75	1,75	1,33	0,64	0,69	1,75	2,3	2,72	3,87	5,44	7,15	9,31	16,61
Kopf vekt.	0,55	0,41	0,32	0,18	0,23	0,46	0,87	1,29	1,66	2,03	2,35	2,35	2,3	2,12	2,21	2,9	3,6	4,06	4,2	4,52	5,03	4,29	
Schulter vekt.	0,64	0,55	0,46	0,27	0,37	0,37	0,55	0,87	1,1	1,42	1,79	1,89	1,98	2,03	1,84	1,93	2,49	3,45	3,97	4,24	4,43	5,12	6,64
Kugel vekt.	0,78	1,01	1,06	1,1	0,92	0,87	0,73	0,69	0,69	0,64	0,32	0	-0,27	-0,18	0,55	1,47	2,07	2,77	3,78	5,25	6,83	9	16,61
Beginn d. Bew.																							
Kopf Abs.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,48	1,91	2,11	2,25	2,34	2,11	2,02	2,11	2,79	3,46
Schulter Abs.	0,18	0,13	0,38	0,1	0,38	0,31	0,27	0,27	0,22	0,27	0,45	0,74	1,03	1,35	1,41	1,8	1,93	1,95	1,75	1,95	2,47	3,35	3,96
Kugel Abs.	0,31	0,27	0,63	0,1	1	1,12	1,08	0,81	0,67	0,67	0,85	1,1	1,33	1,3	1,12	0,63	0,36	0,58	1,08	1,75	2,25	2,65	3,42
Kopf vekt.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,37	1,75	1,87	2	2,16	2,01	1,93	2,11	2,79	3,46
Schulter vekt.	0,13	0,19	0,31	0,4	0,38	0,31	0,25	0,18	0,2	0,27	0,43	0,72	0,99	1,24	1,46	1,57	1,71	1,82	1,89	1,71	1,93	2,45	3,33
Kugel vekt.	0,11	0,27	0,6	0,85	0,9	0,97	0,97	0,72	0,67	0,63	0,54	0,47	0,31	0,22	0,09	0,11	0,15	0,54	0,99	1,53	2,11	2,63	3,33

Ende d. Bew.	s_N	s_O	s_P	s_R	s_S	s_T	s_U	s_V	s_W	s_X	s_Y	s_Z	s_Z^1	s_Z^2	s_Z^3	s_Z^4								
Kopf Abs.	16,85	17,89	17,05	17,26	17,47	18,72	19,97	21,42	21,21	19,97	15,6	16,01	12,89	9,36	9,15	—								
Schulter Abs.	—	—	17,26	18,3	19,13	20,38	21,63	23,5	26	25,37	21,63	17,05	14,56	12,06	12,06	—								
Kugel Abs.	—	—	—	—	—	—	30,78	36,61	42,01	46,59	49,9	—	—	—	—	—								
Ende d. Bew.	v_N	v_O	v_P	v_R	v_S	v_T	v_U	v_V	v_W	v_X	v_Y	v_Z	v_Z^1	v_Z^2	v_Z^3	v_Z^4	Einheit in $\frac{m}{s}$							
Kopf Abs.	4,38	4,65	4,43	4,49	4,54	4,87	5,19	5,57	5,51	5,19	4,05	4,16	3,35	2,43	2,38	—								
Schulter Abs.	—	—	4,49	4,76	4,97	5,3	5,62	6,11	6,76	6,59	5,62	4,43	3,78	3,13	3,13	—								
Kugel Abs.	—	—	—	—	—	—	8	9,52	10,92	12,11	12,97	—	—	—	—	—								
Gesamtbewegung	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	
Kopf Abs.	-1,68	-1,08	-1,68	0,6	2,76	5,52	4,92	5,52	6,12	3,36	0,48	-1,56	-3,36	0	8,28	8,88	7,2	3,36	-1,68	2,16	6,12	-9,36	-8,4	
Schulter Abs.	-1,08	-1,08	-2,28	1,08	0	2,28	4,44	3,36	4,44	5,52	1,68	0,48	-0,48	-2,88	0	6,72	11,64	8,28	5,52	0	6,6	18,36	-11,64	
Kugel Abs.	2,16	1,08	2,28	-2,18	-1,08	-3,36	1,2	3,24	5,52	2,28	0	-5,04	-8,28	9,6	12,72	6,6	5,04	13,8	18,84	20,52	25,92	87,6	—	

Einheit in $\frac{m}{s^2}$

8. Literaturangaben

- Buchmann, R. : Beitrag der Biomechanik zur Optimierung der sportlichen Technik. Theorie und Praxis der Körperkultur, 1978/6, S.456-459
- Donskoi, D.D. : Grundlagen der Biomechanik. Berlin, 1975
- Gautier, R. : Kegeln, Kegelspiele. Köln, 1978
- Gönner, U. : Zur Strukturanalyse sportmotorischer Fertigkeiten. Sportwissenschaft, 1977/2, S.115-135
- Gönner, U. : Lehrender Funktionsphasen (1) . Sportunterricht, 1975/1, S.4-8
- Gönner, U. : Bewegungsanalyse im Sport. Schorndorf, 1979
- Grieswelle, D.. : Sportsoziologie. Stuttgart, 1978
- Grohmann, G. : Methodik der Stufenausbildung. Deutscher Keglerbund, Lehrwesen Asphalt, 1976
- Grohmann, G. : Kegeln oder Sportkegeln. Der Übungsleiter, 1978/2, S.23
- Gutewort, W. / Töpfer, D. : Photographische Verfahren der biomechanischen Kinemetrie (I). Theorie und Praxis der Körperkultur, 1968/9, S.810-818
- Gutewort, W. : Photographische Aufnahmeverfahren der biomechanischen Kinemetrie (II). Theorie und Praxis der Körperkultur, 1969/5, S.444-457
- Haas, H.A. : Kegeln nach neuen Regeln. München, 1974
- Hochmuth, G. : Biomechanik sportlicher Bewegungen. Berlin-Ost, 1981
- Rehling, D. : Kegeln und Kegelspiele. Köln, 1981
- Steiner, H. : Psychologische Aspekte im Sportkegeln. In: Praxis der Psychologie im Leistungssport. (Herausgeber: Gabler, H. u. a.) Berlin, 1980, S.122-132