

Strukturanalyse und Aktionsanalyse sportmotorischer Fertigkeiten

Seit im Sportunterricht versucht wird, dem Lernenden durch gezielte methodische Bemühungen den Lehrgegenstand nahezubringen, werden morphologische Betrachtungen über den Lehrgegenstand, die sportmotorische Fertigkeit, ange stellt. Aber erst mit dem von UNGERER maßgeblich initiierten Einzug der Informationstheorie in die Methodik des Sports wird eine „Strukturanalyse“ der sportmotorischen Fertigkeit als Basis für die Gestaltung von Lehrmaßnahmen gefordert. Die Notwendigkeit ergibt sich aus der Aufgabe, für die Abfassung von programmierten Instruktionen oder Lehrprogrammen die motorischen Fertigkeiten nach dem Kalkül in objektiv abgrenzbare kleinste Bewegungseinheiten oder Bewegungselemente (sensomotorische Einheiten) zu zerlegen, die, in Lernschritte logisch geordnet, als Basaltext zu verbalisieren sind.

Überblickt man jedoch die bisherigen Strukturierungsversuche und prüft man die Möglichkeit, mit Hilfe der gegebenen Definitionen Strukturanalysen durchzuführen, so stößt man mehr oder weniger früh auf eine Grenze, über die hinaus die kalkulierenden Methoden versagen und man gezwungen ist, mit empirischen oder biomechanisch interpretierenden Verfahren einzuspringen. Die Folge sind berechtigte Zweifel, ob mit den derzeit zur Verfügung stehenden Methoden eine objektive Quantifizierung im Sinne der Kybernetik überhaupt möglich und gerechtfertigt ist, so daß es notwendig erscheint, die Suche nach anderen Analyseverfahren fortzusetzen oder sich auf bestehende Analyseverfahren zu besinnen.

Im folgenden sollen zwei der möglichen Verfahren, eine sportmotorische Fertigkeit zu analysieren, dargestellt, auf praktische Beispiele angewendet, die Ergebnisse verglichen und Probleme, die sich aus den Ergebnissen einerseits und der Funktion des sensomotorischen Systems andererseits ergeben, aufgezeigt werden.

Analyse nach räumlich-zeitlichen Kriterien

Will man einen motorischen Ablauf analysieren, so steht als einfachste Methode das Verfahren zur Verfügung, den Ablauf anzuschauen, zu behalten und in der Erinnerung in Abschnitte zu zerlegen, wobei die Definition dessen, was unter „Abschnitt“ verstanden werden soll, noch recht unscharf sein kann. Durch den optischen Analysator des betrachtenden Subjekts können Veränderungen der Körperlage des Beobachteten gegenüber der Umwelt und Veränderungen der Lage von Körperteilen gegenüber der Umwelt und gegenüber anderen Körperteilen festgestellt werden.

Ebenso läßt sich das Verhältnis des Ausmaßes von Ortsveränderungen von einzelnen Körperteilen zur benötigten Zeit erfassen und vergleichend auswerten. Auf diese Weise ist eine Gliederung der betrachteten motorischen Fertigkeit in Abschnitte möglich, die sich durch unterschiedliche Geschwindigkeiten des Körpers oder einzelner Körperteile und/oder unterschiedliche Bewegungsrichtungen voneinander abgrenzen lassen und die entweder gleichzeitig oder nacheinander oder um einen bestimmten Betrag zeitlich verschoben ablaufen.

Um die „flüchtige“ Gestalt eines motorischen Ablaufs bleibend zu fixieren und so einer eingehenden Untersuchung zugänglich zu machen und um die subjektiven Einflüsse auf das Ergebnis der räumlich-zeitlichen Strukturanalyse auszuschalten, wird seitens der auf die Informationstheorie gegründeten Sensomotorik (im folgenden IT-Sensomotorik) eine räumlich-zeitliche Strukturanalyse durch Auswerten von Filmen, speziell von Zeitlupenaufnahmen, gefordert (z. B. BETSCH 1972). Anhand der Filme sollen die Bewegungselemente oder „sensomotorischen Sequenzen“ ausgezählt werden, wobei streng nach räumlich-zeitlichen Kriterien vorzugehen und jede Interpretation zu unterlassen ist. Dieses Verfahren setzt selbstverständlich eine exakte Definition der Maßeinheit „sensomotorische Sequenz“ oder „räumlich-zeitliches Bewegungselement“ voraus, die eine zweifelsfreie objektive Zergliederung der motorischen Fertigkeiten ermöglichen sollte.

Eine solche Definition liefert UNGERER (1971, 120): „Die sensomotorische Sequenz S ist derjenige Abschnitt einer sensomotorischen Fertigkeit, der durch zwei Raumpunkte markiert ist, an denen ein ausgewählter Punkt der Systemperipherie des Adressaten seine Bewegungsrichtung ändert.“

Es ist zu zeigen, daß diese Definition kein exaktes Maßsystem liefert und den Anforderungen nach Objektivität nicht genügt:

1. Aus physikalischer Sicht ist diese Aussage über die Änderung der Bewegungsrichtung nicht mit dem von UNGERER intendierten Sinne in Einklang zu bringen; denn jeder Punkt, der sich auf einer Kreisbahn bewegt, ändert ständig seine Bewegungsrichtung, die durch die Tangente an die Kreisbahn im augenblicklichen Punkt bestimmt ist (s. dazu KRUBER/FUCHS 1973, 134). Aus UNGERERS Beschreibung des „Hitch-Kick“ geht hervor, daß hier eine Bewegungsänderung im Sinne eines Wechsels von einer geradlinigen Bewegung in eine Drehbewegung, eine Umkehr in der Drehrichtung und ein Übergang von einem Stillstand in eine Bewegung oder umgekehrt gemeint sind.
2. Wenn es UNGERER genügt, das Verhalten eines Punktes der Systemperipherie zu beschreiben, um das Verhalten der proximalen Körperpunkte des ausgewählten Teilkörpers zu bestimmen, so kommt ihm im Beispiel des „Hitch-Kick“ die Tatsache zur Hilfe, daß — falls man das Hüftgelenk als Bezugspunkt voraussetzt — der betrachtete Körperteil eine offene zweigliedrige kinematische Kette darstellt. Vernachlässigt man den Umstand, daß das proxi-

male Gelenk dieser kinematischen Kette nicht nur *einen* Freiheitsgrad (*eine* Achse) besitzt, so bestimmt in dieser Situation tatsächlich die Bewegung des peripheren Punkts die Bewegung der übrigen Massenpunkte des zutreffenden Teilsystems. Sobald aber eine ebene offene kinematische Kette drei oder mehr Glieder besitzt (s. Abb. 1 c) oder sobald zumindest das proximale der beiden Gelenke einer zweigliedrigen offenen kinematischen Kette ein Kugelgelenk (dreiaxsig) und kein Scharniergelenk (einachsig) ist (s. Abb. 1 b), trifft diese Voraussetzung nicht mehr zu, so daß die Notwendigkeit besteht, entweder das Verhalten zusätzlicher Körperpunkte auf anderen Gliedern der kinematischen Kette zu beobachten oder aber für den ausgewählten peripheren Punkt ein besser entsprechendes Bezugssystem zu wählen.

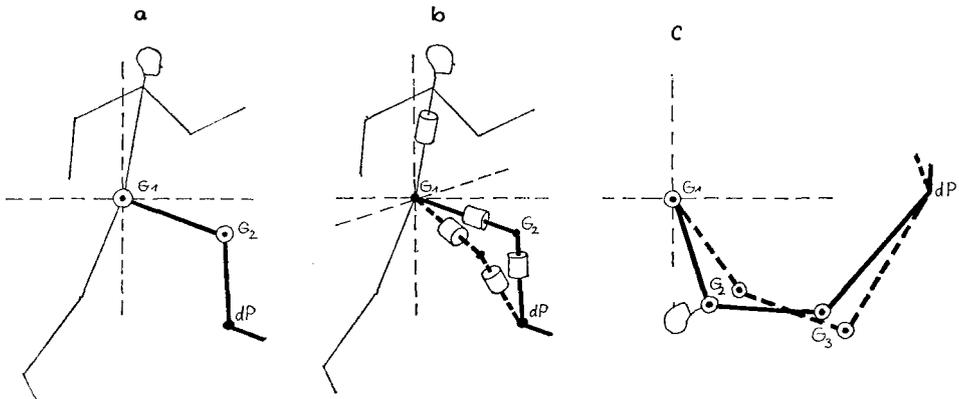


Abb. 1 Modelle offener kinematischer Ketten: a) eben, zweigliedrig; b) räumlich, zweigliedrig; c) eben, dreigliedrig.

3. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, für die Betrachtung der Bewegung eines Körperpunkts das jeweilige Bezugssystem anzugeben oder dasjenige Bezugssystem herauszusuchen, durch das die Bewegung des betreffenden Körperpunkts eindeutig bestimmt wird (s. dazu GÖHNER 1972, 94). Wie sich die Wahl des Bezugssystems auf die Wege eines Körperpunkts auswirkt, zeigt Abb. 2, in der die Bewegung eines peripheren Punkts während der Kick-Bewegung und des Zurückführens des Schwungbeins bei drei unterschiedlichen Bezugskoordinaten dargestellt ist. Hier ist erkennbar, daß die Wege des ausgewählten peripheren Körperpunkts keine einheitliche Bestimmung der Anzahl der räumlich-zeitlichen Elemente zulassen.
4. Damit ist schon ein weiteres Problem angesprochen worden, nämlich das der „Auswahl“ der Körperpunkte. Die Forderung nach objektiver Quantifizierung der räumlich-zeitlichen Struktur verlangt, daß eine Auswahl des betrachteten Punktes nach welchen Kriterien auch immer nicht möglich ist, sondern daß das

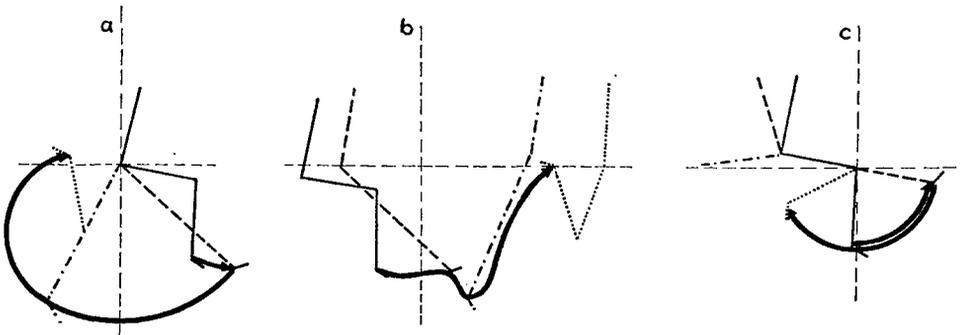


Abb. 2 Raumwege des Fußgelenkes des Schwungbeins beim Hitch-Kick bei unterschiedlichen Bezugskoordinaten.

Verhalten eines jeden Kettengliedes, das aufgrund der Anordnung und Typen der Gelenke mehr als einen Freiheitsgrad bezüglich des nächstgelegenen proximalen Gelenks besitzt, in der Strukturanalyse beschrieben werden muß.

Zur Vermeidung der genannten Fehlerquellen soll folgende Definition einer räumlich-zeitlichen Bewegungseinheit zur Diskussion gestellt werden:

Räumlich-zeitliches Element einer motorischen Fertigkeit ist derjenige Abschnitt in der Drehbewegung eines Körpergliedes um das zugehörige proximale Gelenk, der durch Stillstand oder Änderung des Drehsinnes und/oder Änderung der Drehachse begrenzt ist.

Aus dieser Definition geht hervor, daß das Verhalten eines jeden Gliedes der kinematischen Kette des menschlichen Körpers betrachtet wird, und zwar im folgenden bezüglich eines Koordinatensystems, dessen Schnittpunkt mit der Gelenkachse des proximalen Gelenks zusammenfällt und dessen eine Koordinate in der Längsachse des benachbarten proximalen Gliedes liegt. Die Bezeichnung „proximal“ bezieht sich dabei entweder auf den Abstand vom Stütz- oder Aufhängepunkt an der Umwelt, oder — bei einem freien abgeschlossenen System — auf den Abstand vom Systemzentrum, das durch das als zentrale Einheit betrachtete Kettenglied des Rumpfes dargestellt wird. Die Bewegungen des innersten Gliedes der kinematischen Kette und — bei allen abgeschlossenen Systemen — die Bewegungen des Systemzentrums werden im Verhältnis zur Umwelt betrachtet.

Die oben genannte Definition verlangt die Betrachtung des Bewegungsverhaltens eines jeden Körpergliedes, obwohl festgestellt wurde, daß dies nur bei einem solchen Glied der kinematischen Kette notwendig ist, das bezüglich des nächsten proximalen Gelenks mehr als einen Freiheitsgrad besitzt. Da jedoch bei der Betrachtung der sensomotorischen Fertigkeiten nur selten zweigliedrige ebene offene kinematische Ketten auftreten, scheint es sinnvoll, von vornherein das proximale Gelenk als zutreffenden Koordinatenmittelpunkt für jedes Kettenglied zu betrachten.

Am Beispiel der Schwungbeinbewegung beim Hitch-Kick soll die oben vorgeschlagene Definition angewendet werden (Abb. 3).

Die Strukturanalyse der Schwungbeinbewegung ergibt fünf räumlich-zeitliche Elemente, während UNGERER (1972) lediglich drei sensomotorische Sequenzen in der Schwungbeinbewegung beim Hitch-Kick erkennt.

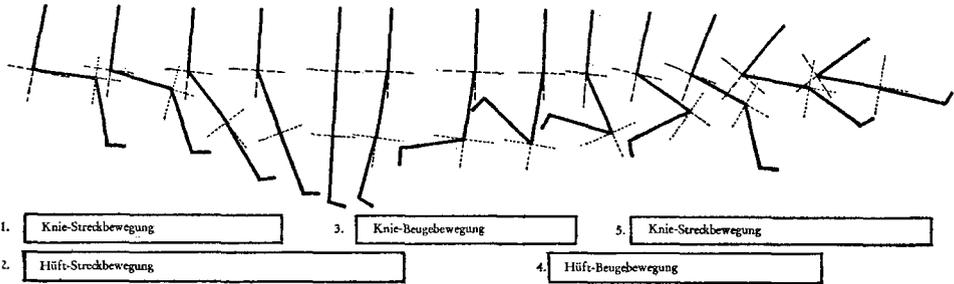


Abb. 3 Räumlich-zeitliche Elemente im Verhalten des Schwungbeins beim Hitch-Kick.

Zur besseren Übersicht sind in Abb. 3 nur Rumpf und Schwungbein gezeichnet. Die Bewegung des Körperschwerpunkts auf der Wurfparabel und die Bewegung des Rumpfes bezüglich der Umwelt wurden nicht berücksichtigt. Ebenso wird vorausgesetzt, daß im Hüftgelenk nur ein Freiheitsgrad ausgenutzt wird.

Allerdings ist auch bei der Anwendung der hier vorgeschlagenen Definition des räumlich-zeitlichen Elements kein absolut objektives Kalkulieren möglich. Eine Analyse der in Abb. 4 dargestellten unterschiedlichen Ausführungsmöglichkeiten des Riesenfelgumschwungs führt u. a. zu folgenden Fragen:

1. Ist der Betrag der Hüftwinkel-Erweiterung in Ausführungsart b) groß genug, um hier — im Gegensatz zu Ausführungsart a) — ein zusätzliches räumlich-zeitliches Element auszählen zu können?

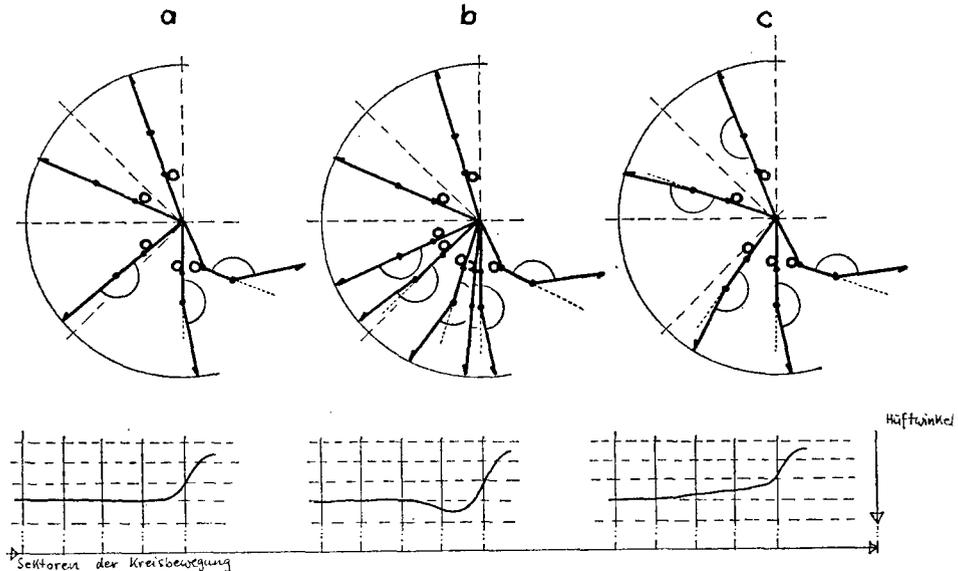


Abb. 4 Ausführungsmöglichkeiten der Riesenfelge vorlings rückwärts und Diagramme der Hüftwinkeländerung.

2. Ist der Anstieg der Hüftwinkel-Verkleinerung im zweiten Sektor des Umschwungs in Ausführungsart c) „steil“ genug, um die zeitliche Grenze der Hüftwinkel-Verkleinerung vorzulegen?

Es ist nicht im Sinne der IT-Sensomotorik, die Entscheidung dieser Fragen in das subjektive Ermessen des Analysierenden zu stellen. Ebenso lehnt die IT-Sensomotorik eine Klärung durch biomechanische Interpretation ab. Wenn es folglich nicht gelingt, ein hinreichend objektives Verfahren zur Strukturanalyse motorischer Abläufe nach räumlich-zeitlichen Kriterien zu entwickeln, muß nach anderen Verfahren zur Analyse motorischer Fertigkeiten gesucht werden.

Analyse nach dynamisch-eigenmotorischen Kriterien

Neben dem Beobachten einer motorischen Fertigkeit liegt eine weitere grundlegende Möglichkeit, eine motorische Fertigkeit zu analysieren, darin, die Bewegung auszuführen, die Wahrnehmungen, die während des Ablaufs der einzelnen Aktionen des Körpers als Rückmeldung auftreten, zu behalten und den Gesamtverlauf in der Erinnerung in Abschnitte zu zergliedern. Dieses Verfahren soll im folgenden *dynamisch-eigenmotorische Aktionsanalyse* motorischer Fertigkeiten genannt werden.

Der Begriff „motorische Fertigkeit“ wird hier als eine vom sensomotorischen System in Form eines „Aktionsmodells“ geplante, durch koordinierte Einzelaktionen (Bewegungsakte) des sensomotorischen Systems erzeugte Positionsänderung der Glieder des Systems zueinander und des Systems bezüglich der Umwelt definiert.

Grundlage für die Forderung einer dynamisch-eigenmotorischen Aktionsanalyse ist die Funktion der sensorischen und motorischen Subsysteme des sensomotorischen Systems.

Der Begriff „motorisches System“ bezieht sich auf die funktionelle Einheit der motorischen Zentren des ZNS, der efferenten Nervenbahnen und des Bewegungsapparats; der Begriff „sensorische Systeme“ oder „Analysatoren“ betrifft die funktionellen Einheiten der Sinnesorgane, der zugehörigen afferenten Nervenbahnen und der sensorischen Zentren des ZNS. Das motorische System und die sensomotorischen Systeme werden durch die integrierenden/assoziiierenden Zentren des Gehirns zum funktionell einheitlichen „sensomotorischen System“ verbunden.

Das sensomotorische System benötigt zur Planung, Auslösung, Durchführung und Kontrolle des motorischen Verhaltens sensorische Systeme, die möglichst genaue Abbilder der relevanten Konstellationen der mechanischen Umwelt, der Position und der Positionsveränderungen des Bewegungsapparats und der Intensität der Bewegungsursachen (Kräfte) liefern. So bestimmt der optische Analysator die sichtbare Umwelt und ihre Positionsveränderungen bezüglich des sensomotorischen Systems im Laufe eines motorischen Verhaltens, was Informationen über Positionsveränderungen des sensomotorischen Systems bezüglich der Umwelt zuläßt. Der somatosensorische Analysator erfüllt zugleich mehrere Aufgaben, vornehmlich eine Repräsentation der taktilen mechanischen Umwelt, eine Orientie-

rung über die Position und Positionsveränderung der Glieder des Bewegungsapparats und — durch Integration der entsprechenden Sinnesmodalitäten — eine Information über die Intensität von Stützreaktionen und körpereigenen Kräften. Der Vestibulär-Analysator versorgt das sensomotorische System mit Informationen über die Lage zum Schwerfeld der Erde und über Drehbeschleunigungen des Kopfes.

Diese Informationen werden mit Meldungen aus dem optischen Analysator einerseits und aus dem somatosensiblen Analysator andererseits gekoppelt, um von der Lage und Bewegung des Kopfes im Raum einerseits und der Stellung des Kopfes zum Rumpf andererseits Rückschlüsse auf Lage und Bewegung des Gesamtkörpers im Raum zuzulassen.

Von Bedeutung ist, daß die Informationen aus den verschiedenen Analysatoren in der Regel nicht isoliert wahrgenommen werden, sondern sie werden „... zu komplexen Wahrnehmungen integriert. Das Erkennen einer aktuellen Situation erfolgt dann multisensorisch durch Zusammenfassen der Informationen mehrerer Sinnessysteme unter Beteiligung des Gedächtnisses, d. h. der Erinnerung an zurückliegende Erfahrungen“ (TEN BRUGGENCATE 1974, 184). Dadurch schafft sich das sensomotorische System ein einheitliches Aktionsbild, das als Grundlage für die dynamisch-eigenmotorische Aktionsanalyse gelten muß.

Ebenso wird zur Planung einer neuen motorischen Aktion — gestützt auf vorangegangene Wahrnehmungen — im Bewußtsein „... eine ... modellhafte Vorwegnahme des Bewegungsablaufes mit Einstellung auf die erwartete Umweltsituation ...“ (JUNG 1976, 33) repräsentiert, dessen Komponenten, je nach Aufmerksamkeitsbahnung, vorwiegend visueller und/oder somatosensibler Natur sein können. Eine Bewegungsvorstellung ist demnach eine im Bewußtsein repräsentierte Antizipation derjenigen Afferenzen, die bei den geplanten motorischen Aktionen erwartet werden. Sie stellt ein multimodales sensorisches Aktionsmodell dar. Dieses Modell enthält die „Entscheidungsleistungen“ des sensomotorischen Systems, die demnach nicht auf Muskelkontraktionen abzielen, sondern auf erwartete, durch Muskelkontraktionen erzeugte sensorische Eingänge gegründet sind, was hirneurophysiologisch durch die Vermutung gestützt wird, daß der taktile Bewegungsentwurf nicht von dem motorischen Kortex, sondern von den sensorischen Assoziationszentren geliefert wird (HENATSCH 1976, 401).

Multimodale sensorische Aktionsmodelle (eigenmotorische Bewegungsbilder oder Bewegungsvorstellungen) werden durch das sensomotorische System „Mensch“ zweitsignalisch mit Zeichen und Superzeichen belegt, die von der Benennung einfachster Gelenkwinkel-Änderungen bis zur Beschreibung komplexer Handlungsabläufe hierarchisch geordnet sind, wobei sie aber zunehmend von der aktuellen sensorischen Realität abstrahiert sind (VOLFERT 1971). „Solche Generalisierung und kategorialen Abstraktionen werden als Invariantenbildung des Wahrnehmungsprozesses bezeichnet“ (JUNG 1972, 38). Zeichen und Superzeichen enthalten, den ihnen zugeordneten multisensorischen Vorstellungsbildern entspre-

chend, Informationen der verschiedenen Sinnesmodalitäten und — innerhalb der Modalitäten — über verschiedene Sinnesqualitäten. Verbalisierungen wie „die Hand nach vorn stoßen“, „die Hand nach vorn schieben“, „die Hand nach vorn drücken“, „die Hand nach vorn schleudern“ informieren nicht nur über räumliche Bedingungen, z. B. über die an der Aktion beteiligten Gliedersysteme des sensomotorischen Systems und über die Bewegungsrichtung, sondern vor allem auch über dynamische, vornehmlich auf die Wahrnehmung der Somatosensibilität gegründete Prozesse. Mit diesen Informationen sind in unserer Sprache vornehmlich die Verben beladen, was aus der Gegenüberstellung der verbalen Zeichen von verwandten Tätigkeiten (z. B. schreiten — gehen — wandern — laufen — rennen — sprinten) hervorgeht. Reichen Verben zur Charakterisierung der Dynamik eines Verhaltensaktes nicht aus, so kann durch Zuhilfenahme von adverbialen Bestimmungen eine Präzisierung der verbalisierten dynamischen Information erreicht werden.

Diese Zeichen und Superzeichen dienen nicht nur dem sensomotorischen System zur Bildung eines zweitsignalischen Verhaltensmodells, sondern ihre eigentliche Aufgabe liegt im Kommunikationsprozeß zum interindividuellen Informationsaustausch. Da alle menschlichen sensomotorischen Systeme auf gleiche Weise (oder mit für diese Fragestellung unerheblichen Differenzen) die Umwelt und die motorischen Aktionen multisensorisch analysieren, ist bei entsprechender Vorinformation eine korrekte Verarbeitung des multisensorischen Informationsgehalts der Tätigkeitswörter und Umstandsbestimmungen der Umgangssprache gewährleistet. Die Konstanz des Informationsgehalts der Tätigkeitswörter ergibt sich durch die ständige Wechselbeziehung zwischen der „Überlieferung“ der Zeichen im Kommunikationsprozeß einerseits und der sensomotorischen Analyse des dynamischen Geschehens im Ablauf der korrespondierenden Aktion andererseits.

Die dynamisch-eigenmotorische Aktionsanalyse gründet sich auf die hier beschriebene Funktion des sensomotorischen Systems. Sie kann als *ein Analyseverfahren* definiert werden, *bei dem*

- a) *der während der Realisierung einer motorischen Fertigkeit auftretende Komplex von Wahrnehmungen, die sich nach den Kategorien Körperabschnitt und/oder Raum, Intensität und Zeit klassifizieren lassen, bestimmt wird;*
- b) *das auf die Wahrnehmungen zurückführende multisensorische Aktionsbild (oder die korrespondierende motorische Fertigkeit) in nicht weiter teilbare Einzelaktionen (= Bewegungsakte = dynamisch-eigenmotorische Elemente) gliedert wird;*
- c) *die Bewegungsakte mit Hilfe des dem sensomotorischen System zur Verfügung stehenden Zeicheninventars (verbal) nach räumlichen, zeitlichen und dynamischen Merkmalen charakterisiert werden;*
- d) *die Koppelung der Bewegungsakte im Gesamtkomplex der Fertigkeit (oder im Gesamtkomplex des Aktionsmodells) dargestellt wird.*

Innerhalb dieser Definition sind *Bewegungsakte* — als nicht weiter zergliederbare *Aktionselemente einer motorischen Fertigkeit* — solche Abschnitte in der *Aktivität eines ausgewählten Körpersegments, die durch Änderung der Modalität und/oder Qualität innerhalb des Wahrnehmungskomplexes begrenzt sind.*

Es liegt in der Natur dynamisch-eigenmotorischer Aktionsanalysen, daß die Entscheidung über eine Änderung der Wahrnehmungsmodalität und -qualität in den Ermessensspielraum des Analysierenden gestellt ist. Obwohl bei einer bestimmten motorischen Fertigkeit — realisiert von verschiedenen Subjekten — die mechanische Umwelt eine Konstante ist, zeitliche Reihenfolge und Dynamik der einzelnen Bewegungsakte durch das Ziel der Bewegung weitgehend festgelegt sind und sensomotorische Systeme gleiche Analysatoren zur Informationsgewinnung über die Umwelt und die Natur der motorischen Aktionen einsetzen, ist zu erwarten, daß dynamisch-eigenmotorische Analysen gewisse Unterschiede im Ergebnis zeigen. Sie sind „subjektiv“ gefärbt, was man einerseits auf Abweichungen von der Optimalform der Fertigkeit, andererseits auf unterschiedliche — während des Ablaufs der Fertigkeit stattfindende — Bahnung der Aufmerksamkeit auf die einzelnen Analysatoren zurückführen kann.

Ein auf eine dynamisch-eigenmotorische Aktionsanalyse gegründetes Aktionsmodell der Bewegung des Schwungbeins beim Hitch-Kick könnte u. a. wie folgt wiedergegeben werden: „(1) den Oberschenkel bei entspanntem Knie kräftig nach unten hinten schwingen und (2) danach zuerst das Knie, dann den Fuß weit nach vorn reißen!“ Diese Verbalisierung des auf einer dynamisch-eigenmotorischen Analyse gegründeten Plans dieser Bewegung könnte auch anders lauten — je nach Ausführungsart und Aufmerksamkeitsbahnung.

Wieweit der hier formulierte Bewegungsplan, der im Gegensatz zu den fünf Elementen der räumlich-zeitlichen Analyse nur zwei Aktionen beschreibt, der mechanischen Situation und dem bewegungstechnischen Ziel entspricht, kann erst später entschieden werden. Zuvor soll an einem weiteren Beispiel gezeigt werden, daß eine eigenmotorische Aktionsanalyse im Gegensatz zum ersten Beispiel der Kick-Bewegung auch *mehr* Entscheidungsleistungen fordern kann, als aufgrund räumlich-zeitlicher Analysen notwendig erscheint.

In der Abschwungphase des Riesenfelgumschwungs rückwärts (Abb. 4 b) wird ein Kalkulieren nach räumlich-zeitlichen Kriterien im Verhalten des Hüftgelenks erst nach einer Abwärtsdrehung von rund 120° von der Senkrechten über der Reckstange (s. auch Abb. 7 a) den Beginn eines räumlich-zeitlichen Elements, nämlich eine geringe Vergrößerung des Hüftwinkels im Sinne einer Überstreckung, liefern, während in der vorgeschalteten Abschwungbewegung kein Bewegungselement erkannt werden kann. Eine dynamisch-eigenmotorische Analyse liefert aber gerade in dieser Phase eine für die korrekte Ausführung bedeutende Aktion, die verbalisiert „Nach-vorn-oder-unten-Drücken der Fußriste“ oder „zügiges leichtes Beugen der Hüfte“ lauten könnte. Diese Aktion ist nicht nur festzustellen,

wenn das Hüftgelenk äußerlich keine Winkeländerung zeigt, sondern unbedingte Voraussetzung, um den Körper in der Hüfte völlig „gerade“ zu halten. Hieraus wird deutlich, daß das Ergebnis einer räumlich-zeitlichen Strukturanalyse nicht mit dem Ergebnis einer dynamisch-eigenmotorischen Aktionsanalyse identisch ist; d. h., räumlich-zeitliche Elemente entsprechen nicht den Aktionen (oder den Bewegungsakten) des sensomotorischen Systems gemäß der vorliegenden Definition.

Als Darstellung des Ergebnisses einer Aktionsanalyse empfiehlt sich ebenfalls ein Blockschaltbild, wobei die Bewegungsakte durch Blöcke und die Wirkungen und Beziehungen der Bewegungsakte auf- bzw. zueinander — sofern sie sensorisch analysiert werden können — durch verbindende Pfeile darzustellen sind. Bewegungsakte und Wirkungen werden nach räumlichen, zeitlichen und dynamischen Eigenschaften zusätzlich so beschrieben, wie es den Modalitäten und Qualitäten des multisensorischen Aktionsbildes entspricht.

Das mögliche Ergebnis einer dynamisch-eigenmotorischen Aktionsanalyse des Schleuderns an den stillhängenden Ringen aus dem Strecksturzhang zum Schwung vorwärts im Langhang zeigt Abb. 5. Die unterschiedliche Dynamik der Bewegungsakte wird — zusätzlich zur Verbalisierung — durch unterschiedlich starke Umrandung der Blöcke verdeutlicht. Die funktionale Bedeutung der Bewegungsakte für das Erreichen des angestrebten Ziels kann nicht berücksichtigt werden, da sie keine Auswirkung auf Modalität und Qualität der während des Ablaufs eingehenden Wahrnehmungen (Reafferenzen) hat. Aus gleichem Grunde können reaktive Phänomene nicht von aktiven getrennt werden, da sie zwangsläufige Konsequenzen eines Bewegungsakts sind und vom sensomotorischen System multisensorisch nicht voneinander isoliert analysiert werden.

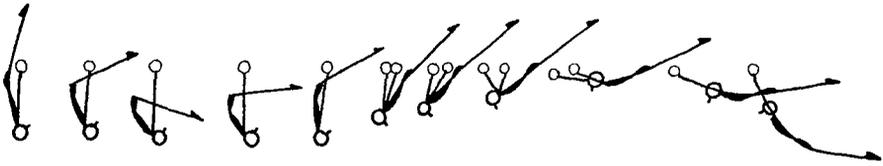
Aufgrund der Subjektivität der dynamisch-eigenmotorischen Aktionsanalyse als „innerer“ Bewegungsanalyse im Sinne GÖHNER (1974) bedarf es einer „äußeren“ Kontrolle. Diese Überprüfung kann die Biomechanik liefern, indem sie nachvollzieht, was die sensorischen Systeme des sensomotorischen Systems leisten.

Biomechanische Interpretation dynamisch-eigenmotorischer Aktionsanalysen

Das sensomotorische System analysiert im Laufe einer motorischen Fertigkeit die äußeren und inneren mechanischen Bedingungen, kontrolliert die mechanische Wirkung der Bewegungsakte und versucht auf diese Weise, das Bewegungsziel durch Erzeugung von Muskelkräften möglichst ökonomisch zu erreichen.

Eine biomechanische Aktionsanalyse arbeitet grundsätzlich in ähnlicher Weise, indem unter Berücksichtigung der inneren und äußeren mechanischen Situation und der biologischen (funktional-anatomischen und neurophysiologischen) Bedingungen des sensomotorischen Systems bestimmt wird, welche Aktionen (Bewegungsakte) des sensomotorischen Systems zur Realisierung einer motorischen Fertigkeit notwendig sind, wie sich die Aktionen hinsichtlich Raum, Zeit und Intensität unterscheiden, welches Wirkungsgefüge die Aktionen untereinander zeigen und wie die

Räumlich-zeitlicher Ablauf:



Dynamisch-eigenmotorischer Ablauf:

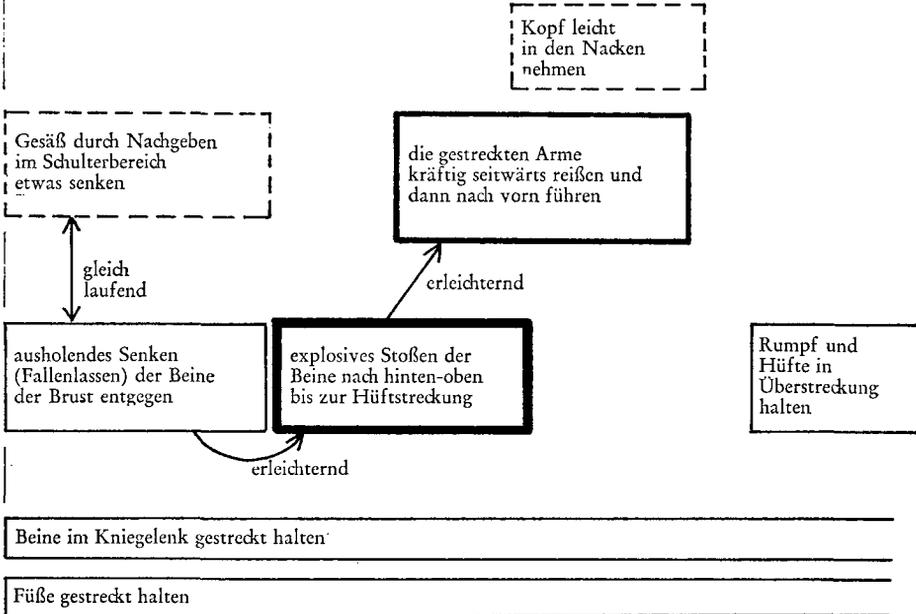


Abb. 5 Dynamisch-eigenmotorische Aktionsanalyse des Schleuderns an den Ringen.

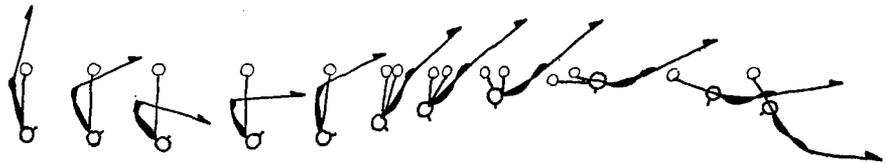
Aktionen durch verbale Zeichen so charakterisiert werden können, daß es dem durch eine Realisierung der Fertigkeit erzeugten multisensorischen Aktionsbild möglichst weitgehend entspricht.

Während bei dynamisch-eigenmotorischem Vorgehen alle vom analysierenden Subjekt analysierten Bewegungsakte in die Analyse mit eingehen, beschränkt sich die biomechanische Aktionsanalyse auf die zum Erreichen des Ziels notwendigen Aktionen — es wird eine Analyse der Optimalform der Fertigkeit geliefert (s. Abb. 6). Insofern macht die biomechanische Analyse auf dem Weg über die Beschreibung der Wirkung der Bewegungsakte eine Aussage über die Funktionalität der Aktionen, wie es GÖHNER (1974) in seiner Funktionsanalyse vorschlägt. Allerdings wird hier die Funktion in bezug zur Bewegungsabsicht (Formidee) gesehen und nicht ausschließlich in bezug zum äußeren Erreichungszustand, so daß hier eine Gruppierung der motorischen Fertigkeit nach Funktionscharakteri-

stika überflüssig erscheint. Ebenso machen hier sowohl der Bezugspunkt „Bewegungsabsicht“ als auch die Wiedergabe des Analyseergebnisses in Form von Sinnesmodalitäten und -qualitäten beschreibenden Superzeichen als auch die Darstellungen der Wirkungen der Bewegungsakte aufeinander eine Klassifizierung der Bewegungsakte gemäß ihrer Funktion überflüssig.

Die Bedeutung biomechanischer Aktionsanalysen liegt darin, die Subjektivität dynamisch-eigenmotorischer Aktionsanalysen weitgehend zu reduzieren. Sie sind demnach als Ergänzung und Erweiterung der dynamisch-eigenmotorischen Aktionsanalyse zu sehen. Eine biomechanische Interpretation wird allerdings nicht

Räumlich-zeitlicher Ablauf:



Ablauf gemäß biomechanischer Analyse:

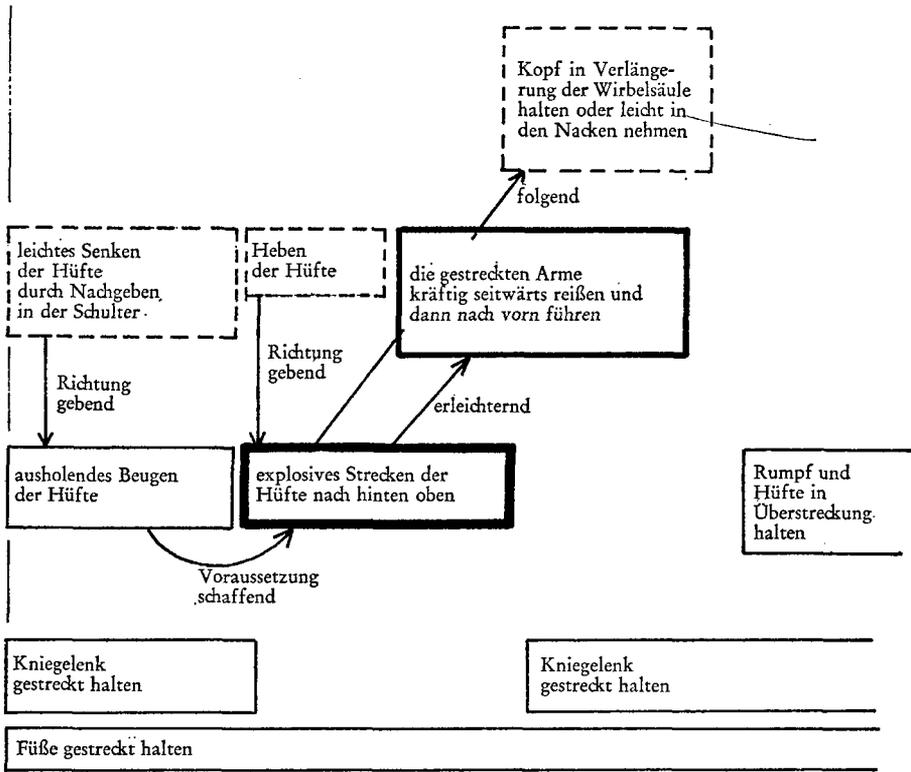


Abb. 6 Biomechanische Aktionsanalyse des Schleuderns an den Ringen.

den Grad der Objektivität einer informationstheoretisch gegründeten Strukturanalyse erreichen. Dieser Nachteil wird in Kauf genommen, weil die biomechanische Aktionsanalyse die Aktion des sensomotorischen Systems und — bei Berücksichtigung der Funktion der sensorischen Systeme und der Integrations- und Assoziationssysteme des sensomotorischen Systems — das multimodale Aktionsbild adäquat beschreiben kann.

Das Ergebnis einer biomechanischen Aktionsanalyse zeigt Abb. 6. Die biomechanische Begründung des dargestellten Modells soll allerdings nur exemplarisch am Beispiel zweier Aktionen im Laufe der sensomotorischen Fertigkeit „Schleudern an den Ringen“ geliefert werden: Eine denkbare Aktion im Bereich der Halswirbelsäule im Sinne einer Streckung der Halswirbelsäule vor oder während der Hüftstreckbewegung findet keine mechanische Begründung. Aus biologischer (neurophysiologischer) Sicht muß erwähnt werden, daß eine Begründung durch die Funktion der Halstonus-Reflexe nicht zutreffen kann. Denn die Streckbewegung des Körpers beginnt im Hüftgelenk. Erst im weiteren Verlauf der Hüftstreckbewegung werden — cranial fortschreitend — auch die Lendenwirbelsäule und dann die Brustwirbelsäule gestreckt. Die Halstonus-Reflexe breiten sich aber nur in caudaler Richtung über den Körper aus (WIEMANN 1965); sie können demnach die vorliegende Aktion im Bereich des Rumpfes nicht beeinflussen. Die Notwendigkeit einer optischen Kontrolle ist fragwürdig. Sie ist im vorliegenden Fall für geübte Turner überflüssig; der Lernende hingegen muß sich auf andere Analytoren konzentrieren. Folglich ist es unerheblich, ob beim Schleudern an den Ringen der Kopf und die Halswirbelsäule „in Verlängerung“ der Rumpfwirbelsäule verbleiben oder aber der Kopf „in den Nacken genommen“ wird. Selbst ein Verharren des Kopfes „auf der Brust“ — wie man es hin und wieder auch bei Meisterturnern beobachten kann — wird den Bewegungsablauf des Schleuderns nicht negativ beeinflussen können. Für die biomechanische Aktionsanalyse ergibt sich daraus die Konsequenz, entweder keinen Bewegungsakt zu benennen oder — wenn das Verhalten über eine Willküraktion gesteuert wird — die Dynamik des Bewegungsakts durch Verwendung relevanter Zeichen wie „halten“, „nehmen“, „leicht“ so zu charakterisieren, wie es das Ergebnis der biomechanischen Analyse empfiehlt.

Das zweite Beispiel bezieht sich auf die Aktion zur gestreckten Haltung des Kniegelenks. Im ersten Abschnitt der Fertigkeit, während des Senkens der Beine aus dem Strecksturzhang in den gewinkelten Sturzhang, ist ein aktives Gestreckthalten des Kniegelenks notwendig — selbst wenn die Hüftbeuge-Aktion mit „Fallenlassen der Beine“ umschrieben werden kann; denn die Unterschenkel haben in gleichen Zeitabschnitten größere Wege zurückzulegen als die Oberschenkel und müssen deshalb zusätzlich zur Erdbeschleunigung durch Muskelaktionen abwärts beschleunigt werden, wenn sie ihre „gestreckte“ Stellung zu den Oberschenkeln beibehalten sollen. Im Abschnitt der Hüftstreckbewegung werden die Unter-

schenkel jedoch durch die Trägheit in die gestreckte Kniestellung gezwungen, so daß sich eine Kniestreck-Aktion erübrigt (s. Abb. 6).

Abschließend sind noch die Beispiele dynamisch-eigenmotorischer Aktionsanalysen, nämlich die der Riesenfelge und der Kickbewegung, biomechanisch zu überprüfen:

In der Abschwungphase der Riesenfelge ist es das äußere, durch die mechanische Situation bestimmte Ziel, den Abschwung mit möglichst großem Abstand der Körpermasse von der Drehachse auszuführen, damit ein möglichst großes Schwerkraftmoment dem Körper einen maximalen Drehimpuls beschaffen kann. Würde sich der Turner aus dem Handstand inaktiv abwärtsbewegen, so zwänge die Erdschleunigung ihn in eine Hohlkreuzlage. Da die Erdbeschleunigung auf jeden Massepunkt des Körpers in gleich konstanter Stärke wirkt, sind die einzelnen Massepunkte bestrebt, unter der Wirkung der Erdbeschleunigung gleich große Fallwege zurückzulegen. Da aber die gestreckten Arme durch die Hände an der Reckstange befestigt sind, können sie die Abwärtsbewegung nicht mitvollziehen. Auf diese Weise werden die Wirbelsäule, das Hüft- und Kniegelenk zunehmend dorsalwärts gebeugt (s. Abb. 7 b). Der Turner muß sich dieser Wirkung durch den Bewegungsakt des Hüftbeugens (Kontraktion der Beugemuskelschlinge; s. Abb. 7 c) ständig widersetzen. Im Optimalfall koordiniert er die Intensität dieser Aktion so mit der äußeren mechanischen Beeinflussung, daß der Körper in sich völlig gerade bleibt.

Zweck der Schwungbeinbewegung beim Hitch-Kick ist, im kräftefreien System des sich frei in der Luft befindenden Springers durch Erzeugung eines Drehimpulses mit Vorwärtsdreh Sinn einen gleich großen Drehimpuls mit Rückwärtsdreh-

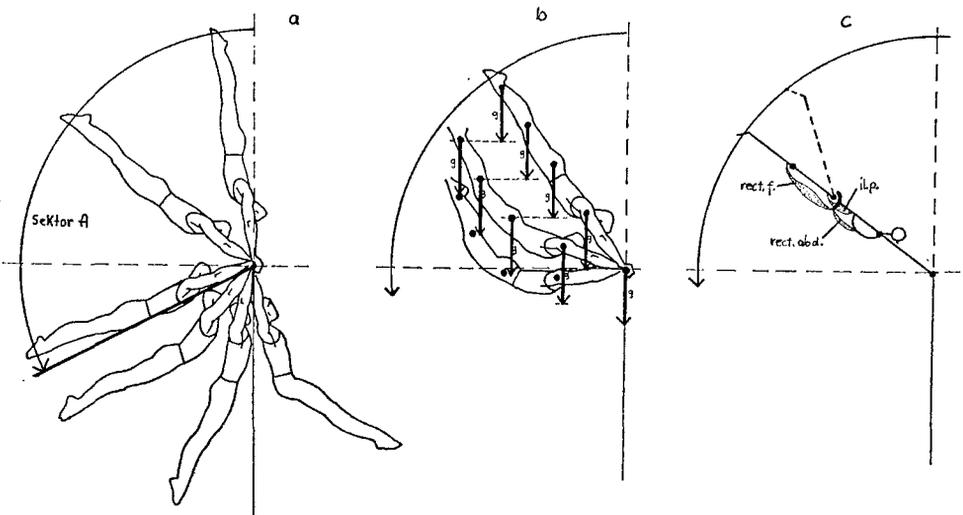


Abb. 7 Abschwungphase zur Riesenfelge vorlings rückwärts.

sinn im Rumpf zu schaffen, so daß der Körper durch „Drehrückstoß“ in eine für die Landephase günstige Rücklage gelangt (s. WIEMANN 1973, 194). Um diesen Zweck zu erfüllen, genügt es tatsächlich, das Kniegelenk (genauer: die über das Kniegelenk ziehenden Muskeln) zu Beginn der Schwungbewegung entspannt zu halten und den Oberschenkel nur durch Kontraktion der Retraktoren des Oberschenkels (hauptsächlich des Gesäßmuskels) rückwärts zu schwingen (Abb. 8). In diesem Fall wird das Knie aufgrund der Trägheit des Unterschenkels (vor allem, wenn im Unterschenkel noch ein von der Absprungbewegung stammender Drehimpuls mit Rückwärtsdrehsinn vorhanden ist) sofort automatisch in die Streckung gezwungen. Bleibt das Kniegelenk auch während des weiteren Schwunges entspannt, so wird der Unterschenkel gegen Ende des Schwunges, wenn nämlich die Bewegung des Oberschenkels durch die Gelenkkapsel des Hüftgelenks abgebremst wird, aufgrund der Trägheit bis in eine weite Kniebeugstellung weiter-schwingen. Hier zeigt sich, daß auch die biomechanische Analyse für diesen Teil der Schwungbeinbewegung, der gemäß einer räumlich-zeitlichen Analyse *drei Elemente* zeigt, lediglich *einen Bewegungsakt* und damit *eine Entscheidungsleistung* fordert. Ein entsprechendes Ergebnis brächte die biomechanische Analyse des Vorbringens des Schwungbeins, was aus Abb. 8 bei entsprechender Berücksichtigung der Muskelkraftmomente und Trägheiten ohne weitere Erläuterung entnommen werden kann.

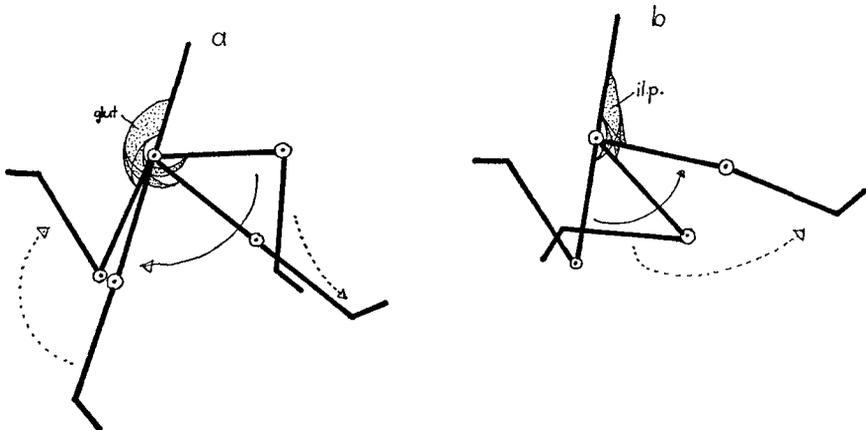


Abb. 8 Theoretische minimale Muskelaktionen zur Realisierung der Schwungbeinbewegung beim Hitch-Kick.

Schlußfolgerung

Um eine Wichtung der hier vorgestellten Analyseverfahren sportmotorischer Fertigkeiten zu erlauben, ist es notwendig, sich auf den Zweck von Bewegungsanalysen zu besinnen: Es geht nicht allein darum, eine bloße — wenn auch möglichst exakte — Beschreibung motorischer Fertigkeiten zu gewinnen, sondern das Analyseergebnis soll einen weiteren Nutzen bringen, nämlich u. a. Material für

lehrmethodische Optimierungsprozesse. Aufgrund der Ergebnisse der Bewegungsanalysen sollen Maßnahmen entworfen werden, um eine motorische Fertigkeit möglichst schnell, unter Ausschaltung von Fehlleistungen und Umwegen, erlernen und die Optimalform der Bewegung realisieren zu lassen. Adressat für diese Maßnahmen ist das sensomotorische System „Mensch“, und die Aufgabenstellungen zur Realisierung von Aktionen dieses sensomotorischen Systems werden durch das dem sensomotorischen System adäquate Zeicheninventar mit Informationen über Raum, Zeit und Intensität angeboten.

Diese Überlegung läßt es sinnvoll erscheinen, den lehrmethodischen Maßnahmen dasjenige Analyseverfahren zugrunde zu legen, das sich direkt auf die Aktionen des sensomotorischen Systems richtet und die Aktionen nach räumlichen, zeitlichen *und* dynamischen Gesichtspunkten charakterisiert, nämlich die dynamisch-eigenmotorische Aktionsanalyse, gekoppelt mit einer biomechanischen Interpretation.

Werden lehrmethodische Maßnahmen jedoch ohne weiteres auf das Ergebnis einer nach informationstheoretischen Gesichtspunkten durchgeführten räumlich-zeitlichen Strukturanalyse gegründet, so können bei konsequenter Anwendung dem Adressaten nur Instruktionen hinsichtlich Raum und Zeit angeboten werden. Es bleibt dem Adressaten überlassen, die für die Realisierung der motorischen Fertigkeiten notwendige Dynamik mit Hilfe seiner eigenmotorischen Vorinformation selbst zu finden. Außerdem kann nicht vermieden werden, daß eine räumlich-zeitliche Strukturanalyse sowohl ausführungsrelevante motorische Aktionen „übersehen“ muß, wenn sie räumlich-zeitlich nicht evident werden, als auch sensomotorisch einheitliche Aktionen weiter zergliedern kann. Eine darauf aufbauende Ausführungsvorschrift verlangt vom Adressaten zwangsläufig zusätzlich, seinem eigenmotorischen Informationsstand gemäß, entweder nicht angesprochene Aktionen zu ergänzen oder in mehrere räumlich-zeitliche Elemente zergliederte Aktionen zu synthetisieren.

Es muß hier bezweifelt werden, ob die Objektivität räumlich-zeitlicher Analysen diese Nachteile wettmachen kann, zumal sie nicht absolut ist; denn im Laufe räumlich-zeitlicher Strukturanalysen sportmotorischer Fertigkeiten sind nach wie vor Auswahlentscheidungen des analysierenden Subjekts erforderlich, die nur durch Interpretation begründbar sind. Der Wert räumlich-zeitlicher Strukturanalysen scheint somit darin zu liegen, eine objektive Beschreibung des räumlich-zeitlichen Ablaufs sportmotorischer Fertigkeiten zu liefern, um biomechanischen Aktionsanalysen und weiterführenden Maßnahmen als *eine* mögliche Grundlage zu dienen.

Literatur:

BETSCH, M.: Strukturanalyse und Basaltexterstellung. In: J. RECLA / K. KOCH / D. UNGERER (Hrsg.): Beiträge zur Didaktik und Methodik der Leibesübungen. Schorndorf 1972, 95—99.

- BRUGGENCATE, G. ten: Allgemeine Sinnesphysiologie. In: O. H. GAUER / K. KRAMER / R. JUNG (Hrsg.): Physiologie des Menschen Bd. 10. München / Berlin / Wien 1974, 183—207.
- GÖHNER, U.: Soll- und Ist-Wert nicht im Einklang. In: Sportwissenschaft 2 (1972), 90—98.
- GÖHNER, U.: Zur Strukturanalyse sportmotorischer Fertigkeiten. In: Sportwissenschaft 4 (1974), 115—135.
- HENATSCH, H.-D.: Zerebrale Regulation der Sensomotorik. In: O. H. GAUER / K. KRAMER / R. JUNG (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Bd. 15. München / Berlin / Wien 1976, 265—420.
- JUNG, R.: Einführung in die Sinnesphysiologie. In: O. H. GAUER / K. KRAMER / R. JUNG (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Bd. 11. München / Berlin / Wien 1972, 1—48.
- JUNG, R.: Einführung in die Bewegungsphysiologie. In: O. H. GAUER / K. KRAMER / R. JUNG (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Bd. 14. München / Berlin / Wien 1976, 1—97.
- KRUBER, D. / FUCHS, E.: Programmirtes Lehren und Lernen im Sportunterricht. Schorndorf 1973.
- RÖTHIG, P. (Red.): Sportwissenschaftliches Lexikon. Schorndorf 1972.
- SCHALLER, H.-J.: Strukturanalyse und Basaltexterstellung. In: sportunterricht 22 (1973), 359—366.
- UNGERER, D.: Zur Theorie des sensomotorischen Lernens. Schorndorf 1971.
- VOLPERT, W.: Sensumotorisches Lernen. Frankfurt 1971.
- WIEMANN, K.: Die Körperstellreflexe und ihre Bedeutung für das Gerätturnen. In: Leibesübungen — Praxis (1965) 8, 15—20.
- WIEMANN, K.: Zur biomechanischen Betrachtungsweise sportlicher Bewegungen. In: K. KOCH (Hrsg.): Sportkunde. 2. Aufl. Schorndorf 1976, 25—64.