

DR. MARTIN HILLEBRECHT

Biomechanik im Sporttheorieunterricht

Das biomechanische Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges

1 BIOMECHANISCHE PRINZIPIEN

HOCHMUTH nennt bei der Aufzählung der Aufgaben der Biomechanik auch die "Verallgemeinerung der gewonnenen Erkenntnisse über die zweckmäßigste Technik der einzelnen sportlichen Disziplinen zu allgemeinen biomechanischen Prinzipien der zweckmäßigsten sportlichen Technik" (1982, 13). Er meint damit, dass die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen der sportlichen Technik und den biomechanischen Kennlinien erkannt und in allgemein gültige Prinzipien umgewandelt werden müssen.

Wie bei jeder menschlichen Bewegung, so existieren auch bei sportlichen Bewegungen individuelle Ausprägungen. Dadurch wird die Suche nach der zweckmäßigsten Technik bzw. allgemein gültigen Prinzipien natürlich erschwert. Trotzdem versucht die Biomechanik durch genaue Analysen individuelle Anteile auszuschalten, um allgemein gültige Prinzipien zu formulieren. Aus diesem Grund muss eine Technik, mit der ein Weltrekord erzielt wird, nicht unbedingt mit der zweckmäßigsten Technik identisch sein. Die Wahrscheinlichkeit, dass man aber sehr viele Anteile der zweckmäßigsten Technik finden kann, ist groß. Aus der Verallgemeinerung der Erkenntnisse über die zweckmäßigste Technik erhalten wir die biomechanischen Prinzipien. Das Wissen um diese Prinzipien ist eine wichtige Vorbedingung für die Analyse von sportlichen Bewegungen.

Nachdem im Heft 1/2000 das Prinzip der Anfangskraft bearbeitet worden ist, soll nun das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges Gegenstand der Betrachtungen sein.

2 DAS PRINZIP DES OPTIMALEN BESCHLEUNIGUNGSWEGES

Das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges ist den meisten aus ihrer Lebenserfahrung

geläufig. Würde man die Aufgabe geben, einen Streck sprung aus dem Stand auszuführen und dabei eine möglichst hohe Flughöhe zu erreichen, würden die meisten dieses Prinzip sofort anwenden. Sie würden ihre Bewegung durch eine leichte Ausholbewegung in den Beinen einleiten. Dadurch könnten sie dann ihren Beschleunigungsweg vergrößern und eine größere Sprunghöhe erreichen. Doch warum nutzen sie nicht den maximal möglichen Beschleunigungsweg? Man könnte den Beschleunigungsweg erheblich größer gestalten, wenn man in eine ganz tiefe Hocke gehen würde und sich aus dieser strecken würde. Genau hier setzt das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges ein. Sehen wir uns einmal die Lastarmverhältnisse bei einer normalen Ausholbewegung an.

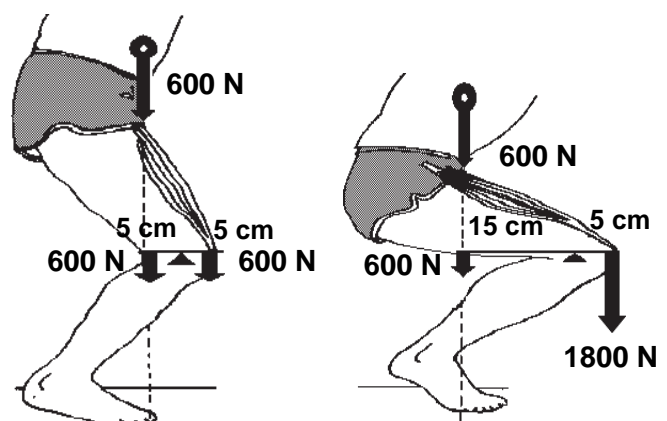


Abb. Lastarme bei unterschiedlich tiefer Hockstellung

Die Schwerkraft greift im Schwerpunkt an und ist bestrebt, den Körper zum Boden zu ziehen. Das Knie stellt bei der Streckung einen Drehpunkt dar. Messen wir jetzt den Abstand der Wirkungslinie der Schwerkraft vom Drehpunkt, so erken-

nen wir einen kleinen Abstand. Ganz anders verhält sich dies bei einer tiefen Hocke. Hier wirkt die Schwerkraft mit einem großen Abstand auf den Drehpunkt. Der Abstand der Sehne zum Drehpunkt bleibt aber weitgehend konstant. Das bedeutet, dass die zur Streckung eingesetzte Muskulatur in der tiefen Hocke zunächst einmal schon höhere Kräfte bzw. Drehmomente aufbringen muss, um den Gleichgewichtszustand des Hockens zu halten (vgl. HILLEBRECHT 1997, 34). Soll der Körper dann nach oben beschleunigt werden und eine möglichst hohe Abfluggeschwindigkeit erreichen, müssen die Drehmomente, die die Muskulatur aufbringt, noch deutlich gesteigert werden. Dass dies muskelphysiologisch nicht möglich ist, zeigen die folgenden Überlegungen. Die Streckmuskulatur ist in der tiefen Hocke sehr stark gedehnt, so dass die Aktinfilamente und die Myosinfilamente weit auseinander gezogen sind. Die Myosinköpfe können dann kaum noch Kontakt zu den Aktinfilamenten finden, um diese zu bewegen. Hohe Kräfte können in dieser Winkelstellung nicht mehr aufgebracht werden.

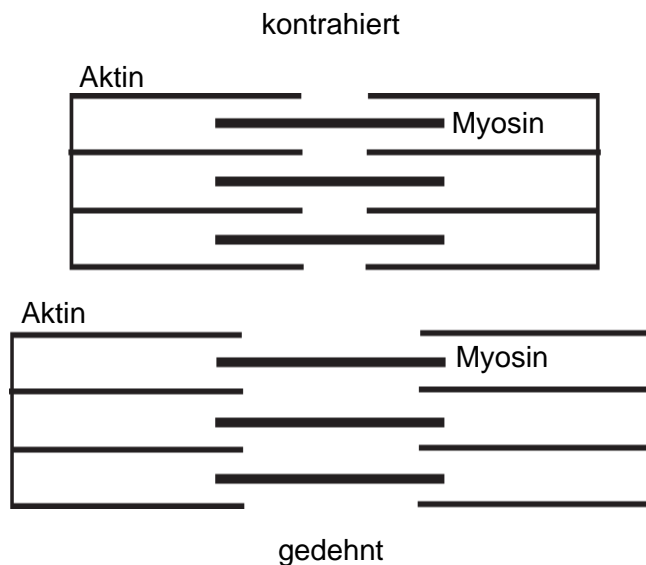


Abb. Myosin-, Aktinfilamente in gedehntem und kontrahiertem Zustand

Für eine möglichst hohe Flughöhe beim Strecksprungbeispiel sind durch die Streckbewegung der Beine aber möglichst hohe Kräfte zu produzieren. Diese führen zu einer Beschleunigung des Körpers und letztlich zum Abflug des Körpers vom Boden. Der Kraftstoß, der die Flughöhe bestimmt, lässt sich aus der folgenden Formel ermitteln bzw. messen:

$$F \cdot t = m \cdot v$$

Der Kraftstoß, der durch die linke Seite symbolisiert wird ($F \cdot t$), ist von entscheidender Bedeutung für die Sprunghöhe, die wir z.B. bei einem Strecksprung erreichen. Der Kraftstoß bestimmt die Abfluggeschwindigkeit, mit dem der Körper den Boden verlässt (v_0). Kraftstöße kann man durch Messungen auf Kraftmessplattformen ermitteln. Die dabei erhaltenen Kraft-Zeit-Kurven können zur Ermittlung des Kraftstoßes herangezogen werden, da die Fläche unter der Kurve mit dem Kraftstoß identisch ist. Vergleicht man die Kraftstöße von Strecksprüngen mit tiefer und flacher Ausholbewegung, so erhält man folgendes Bild.

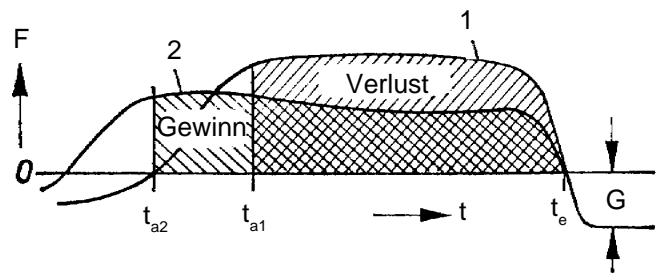


Abb. Strecksprung mit flacher und tiefer Ausholbewegung (HOCHMUTH 1982, 155)

Im Punkt t_a beginnt jeweils die Streckbewegung nach oben. Dieser Punkt wird auch als Beginn der Absprungbewegung bezeichnet. Der Kraft-Zeitverlauf 1 zeigt große Kräfte bei einem mittleren Beschleunigungsweg, während die Kurve 2 einen großen Beschleunigungsweg (Sprung aus tiefer Hocke) bei nur mittleren Kräften zeigt. Die Streckbewegung aus der tieferen Hocke dauert etwas länger. Man kann daher die Fläche von t_a2 bis t_a1 als einen Kraftstoßgewinn gegenüber der Kurve 1 bezeichnen. Dieser Gewinn wird aber durch einen Verlust wegen geringerer Kräfte im weiteren Verlauf wieder völlig zunichte gemacht. Die Fläche des Verlustes ist größer, die Sprunghöhe daher niedriger bei einer tiefen Ausholbewegung.

Die eben dargestellten Kraft-Zeit-Verläufe sind empirisch ermittelt worden und decken sich mit den theoretischen Überlegungen, die wir zuvor bezüglich der Winkelstellungen und der muskelphysiologischen Verhältnisse angestellt haben. Optimale Beschleunigungen finden demnach meistens auf optimalen und nicht auf maximalen Beschleunigungswegen statt. Einen anderen limitierenden Aspekt muss man in diesem Zusammenhang allerdings erwähnen.

Bei vielen Sportarten, die Beschleunigungswege beinhalten, existieren Vorgaben bezüglich der zeitlichen Gestaltung der Beschleunigung. Denken wir hier z.B. an den Boxer, der einen kurz angesetzten Schlag anbringen will. Aus Beschleunigungsgründen wäre eine weite Ausholbewegung sinnvoll, um so eine hohe Endgeschwindigkeit mit der Faust zu erreichen. Der Gegner könnte dann allerdings sehr gut ausweichen. Der Boxer muss also einen Kompromiss zwischen Beschleunigungsweg und der zur Beschleunigung zur Verfügung stehenden Zeit finden. Ähnliches finden wir bei allen leichtathletischen Absprüngen. Auch sie müssen wegen hoher Anlaufgeschwindigkeiten sehr schnell durchgeführt werden. Die Beschleunigungswege dürfen daher nicht sehr lang sein. Wir sehen also, dass nicht nur physiologische und anatomische, sondern auch technikbedingte Aspekte einen Einfluß auf den Beschleunigungsweg haben. Maximale Beschleunigungswege finden wir nur selten im Sport, die Mehrzahl aller Beschleunigungsvorgänge findet auf optimalen Beschleunigungswegen statt.

3 PRAKTISCHE ÜBERPRÜFUNG DES PRINZIPS DES OPTIMALEN BESCHLEUNIGUNGSWEGES

Um das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges empirisch zu überprüfen, wird der Sprunggürteltest verwendet (vgl. HILLEBRECHT 2000, 15):

Ein Bandmaß wird an einem Gürtel befestigt. Das Bandmaß verläuft vom Rücken zum Boden und wird dort z.B. mit einer 1,25kg-Gewichtsscheibe fixiert. Springt der Springer nun nach oben, zieht sich das Bandmaß durch die Gewichtsscheibe nach oben (vgl. Foto 1-3). Die Differenz zwischen der Ausgangshöhe vor dem Sprung und der Höhe nach dem Sprung wird am Bandmaß abgelesen und stellt die Sprunghöhe dar.

Die Schüler erhalten nun die Aufgabe jeweils einen Sprung mit Ausholbewegung durchzuführen. Die ersten drei Sprünge sollen mit einer mittleren Ausholbewegung erfolgen, die Sprünge 4-6 mit einer sehr tiefen Ausholbewegung in die tiefe Hocke. Erfasst werden jeweils die erzielten Sprunghöhen.

Die folgende Tabelle zeigt die in einer Gruppe erhobenen Daten:

Proband	mittl. Beschl.weg Sprunghöhe in cm			großer Beschl.weg		
	1	2	3	1	2	3
1	30	31	30	27	28	26
2	23	25	24	20	21	20
3	36	35	35	31	32	30
4	23	22	21	19	20	20
5	20	22	22	17	18	17

Die sich auftuenden Differenzen in den Sprunghöhen sollten problematisiert werden. Als Unterrichtsmaterialien dienen die folgenden Kopiervorlagen, anhand derer man theoretisch die biomechanischen Ursachen und das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges erläutern kann.

LITERATUR

HOCHMUTH, G.: Biomechanik sportlicher Bewegungen. Berlin 1982.

HILLEBRECHT, M.: Biomechanik im Sporttheorieunterricht. Kraft und Kraft-Zeitverläufe. In: *Betrifft Sport* 5/96, 20-34

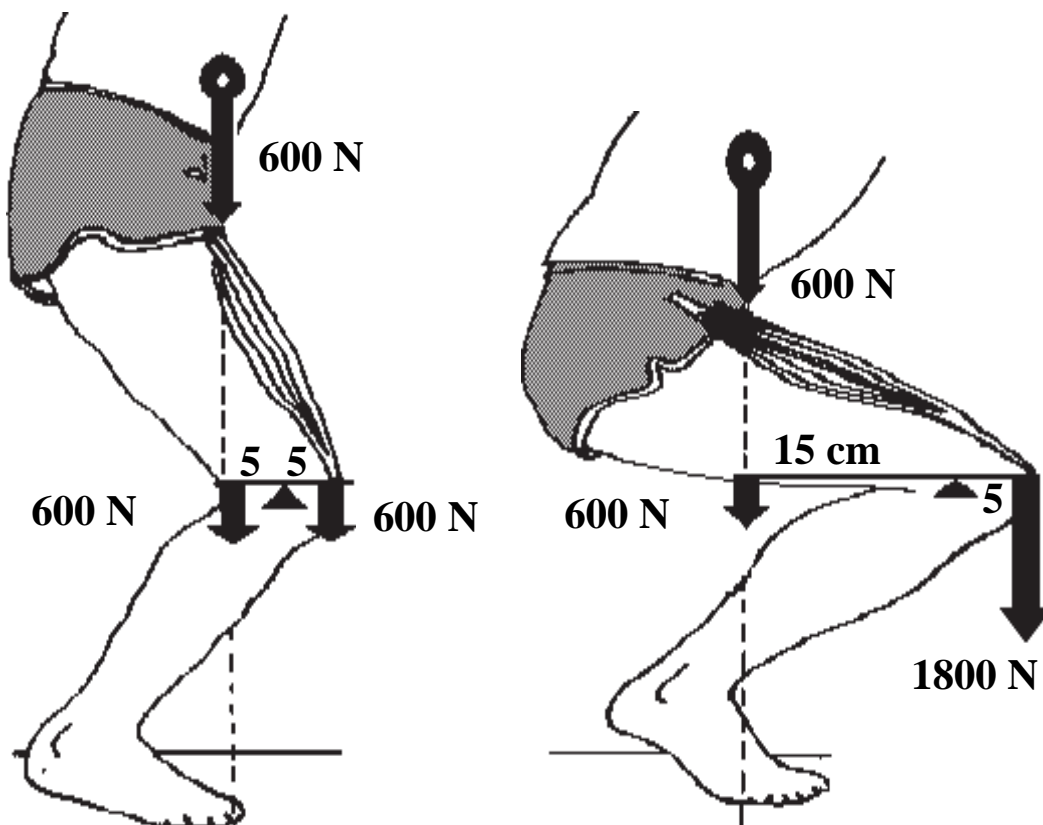
HILLEBRECHT, M.: Biomechanik im Sporttheorieunterricht. Innere und äußere Kräfte. In: *Betrifft Sport* 6/97, 31-38

HILLEBRECHT, M.: Biomechanik im Sporttheorieunterricht. Das biomechanische Prinzip der Anfangskraft. In: *Betrifft Sport* 1/00, 12-23



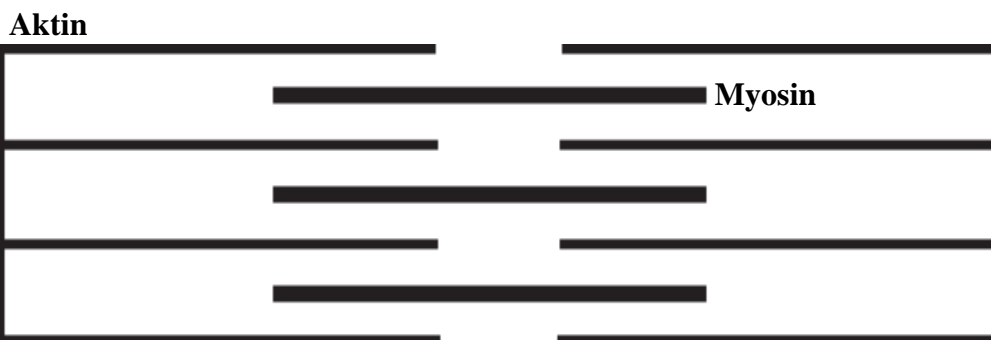
Foto 1 - 3 Sprunggürtel-Test

Kräfte bei tiefer und flacher Hockposition



Sarkomer im kontrahierten und gedehnten Zustand

kontrahiert



gedehnt

Kraft-Zeitverlauf bei einem Streck sprung mit Ausholbewegung aus tiefer und flacher Hockposition

