

DR. MARTIN HILLEBRECHT

Biomechanik im Sporttheorieunterricht

- Grafische Schwerpunktbestimmung -

1. EINLEITUNG

Im ersten Teil dieses Artikels (vgl. *Betrifft Sport* 4/98) wurden zwei Verfahren beschrieben, mit denen man in statischen Positionen des Körperschwerpunktes bestimmen konnte. Diese Verfahren mit Schwerpunktswaagen können aber keine zuverlässigen Aussagen über dynamische Bewegungen machen, da immer nur statische Positionen gemessen werden. Von großem Interesse wäre ein Verfahren, das es erlauben würde, den KSP aus Film- oder Videoaufnahmen bzw. Fotografien von dynamischen Bewegungsabläufen zu ermitteln. Ein solches Verfahren existiert und soll in diesem Beitrag ausführlicher behandelt werden. Es ist den optischen Meßverfahren zuzordnen.

2. OPTISCHE SCHWERPUNKTSERMITTLUNG

Im Bereich der optischen Schwerpunkts-ermittlung existieren 3 verschiedene Verfahren. Wir wollen uns hier nur mit der grafisch-analytischen Schwerpunktsbestimmung nach KNOLL-EGGERS (vgl. WILLIMCZIK 1989, 35) beschäftigen. Bei diesem Verfahren wird zunächst die gefilmte Bewegung als Abbild in ein Koordinatensystem übertragen. Man markiert die Gelenkpunkte und die Achsen von einem Gelenk zum nächsten. Mit diesem als Strichmännchen zu bezeichnenden Modell des Körpers arbeitet man dann weiter.

Jedes Teilsegment hat ebenso wie der Gesamtkörper einen Schwerpunkt. Nehmen wir z.B. einen einzelnen Oberschenkel, so werden wir feststellen, daß der Schwerpunkt des Oberschenkels leicht nach oben in Richtung Hüfte verschoben ist. Dies rührt aus dem größeren Muskelumfang in Richtung Hüfte her. Der erste Schritt zur Berechnung des Gesamtkörperschwerpunktes ist die Ermittlung dieser Teil-

schwerpunkte der einzelnen Körpersegmente. Dabei geht man von empirisch gefundenen Ergebnissen über die relative Lage der einzelnen Segmentschwerpunkte aus. Eine Zusammenstellung solcher Werte zeigt Tabelle 1.

Körperteil	rel. Gewicht in %	Schwerpunkt radien [%] (Ohrgang)
Kopf	7	44
Rumpf	43	47
Oberarm	3 (x 2)	42
Unterarm	2 (x 2)	(Mitte)
Hand	1 (x 2)	44
Oberschenkel	12 (x 2)	42
Unterschenkel	5 (x 2)	44
Fuß	2 (x 2)	44

Tabelle 1: Relative Gewichte und KSP-Radien (WILLIMCZIK 1989, 33)

Die Schwerpunktradien werden in diesem Falle so angegeben, daß vom zum Körper hin gelegenen Gelenk aus gemessen wird. Beim Oberschenkel würde das bedeuten, daß wir von der Hüfte 44% des Abstandes Hüfte/Knie ermitteln müßten, um den Teilschwerpunkt des Oberschenkels zu finden. Das relative Teilgewicht gibt den Gewichtsanteil des jeweiligen Segmentes am Gesamtgewicht wieder. Der Kopf wiegt also 7% vom Gesamtgewicht, bei einem 100kg-Menschen 7kg.

Natürlich sind alle diese Angaben nur modellhafte Angaben. Es ist davon auszugehen, daß diese Werte als Mittelwerte anzusehen sind. In der Praxis können sich aber deutliche Abweichungen ergeben.

Die gefundenen Teilschwerpunkte werden in die

2. Optische Schwerpunktsbestimmung

Grafik eingetragen, und deren Koordinaten werden nach x und y getrennt in eine Tabelle übertragen. Dazu bestimmt man zunächst die Segmentlänge, multipliziert sie mit dem Wert für den Schwerpunktradius und mißt dann vom körpernäheren Gelenk aus die dem Ergebnis entsprechende Strecke aus. Der markierte Punkt ist dann identisch mit dem Segment-schwerpunkt. Die Ergebnistabelle sollte dabei folgende Kopfzeile haben:

Körperteil	rel. Gewicht	x_i	y_i
------------	--------------	-------	-------

Der nächste Schritt ist die Multiplikation aller x_i und y_i mit den zugehörigen relativen Gewichten R_i . Dadurch erreicht man eine Gewichtung der Segment-schwerpunkte mit den Teilgewichten. Der letzte Schritt ist die Addition aller $x_i R_i$ - und $y_i R_i$ -Werte. Die Summe dieser Werte ergibt dann die x - und y -Koordinaten des Körper-schwerpunktes.

Versuchen wir diesen Berechnungsvorgang noch einmal an Hand eines Beispiels nachzuvollziehen:

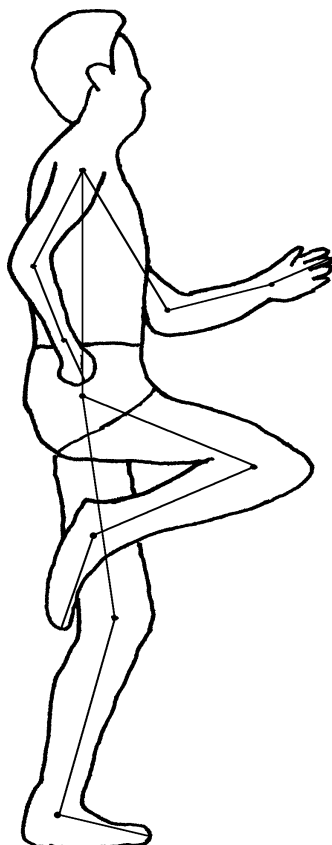


Abbildung 1: Konturogramm mit Gelenkpunkten

In Abbildung 1 ist ein Konturogramm eines Laufschrilles dargestellt. Will man den Schwerpunkt der abgebildeten Person ermitteln, so markiert man zunächst die Gelenkpunkte. Diese sind in der Zeichnung durch einen kleinen Punkt gekennzeichnet. Man verbindet die einzelnen Gelenkpunkte miteinander, um im nächsten Schritt die Segment-schwerpunkte zu bestimmen. Mit Hilfe der oben genannten Schwerpunktradien können wir jetzt die Schwerpunkte einzeichnen. Dazu mißt man die Strecke zwischen den Gelenkpunkten und multipliziert die Streckenlänge mit dem Schwerpunktradius. Das Ergebnis messen wir vom Gelenk, das näher zum Körper liegt ab und markieren es in der Zeichnung.

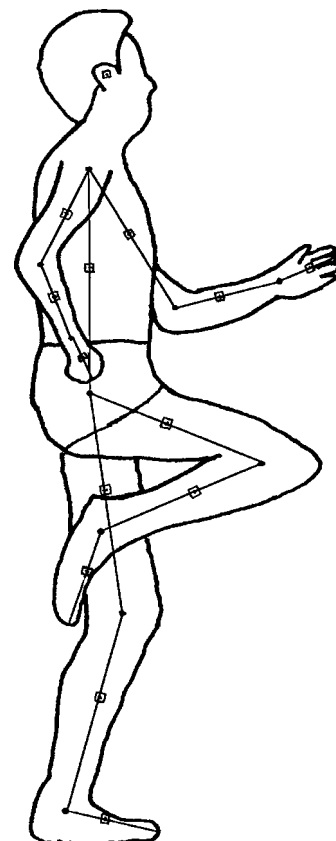


Abbildung 2: Konturogramm mit Gelenkpunkten und Teilschwerpunkten der Gliedmaßen

Die Teilschwerpunkte sind in Abbildung 2 als kleine Quadrate gekennzeichnet. Setzt man die Zeichnung nun in ein Koordinatensystem, so können die Koordinaten der Teilschwerpunkte in

eine Tabelle eingetragen werden. Die bis hier aufgeführten Schritte ergeben die folgende Tabelle:

Körperteil	rel. Gew.	x_i	y_i	R_{ix_i}	R_{iy_i}
Kopf	0,07	11	104	0,77	7,28
Rumpf	0,43	8	78	3,44	33,54
li. Oberarm	0,03	13	82	0,39	2,46
re. Oberarm	0,03	5	85	0,15	2,55
li. Unterarm	0,02	26	74	0,52	1,48
re. Unterarm	0,02	3	74	0,06	1,48
li. Oberschenkel	0,12	10	48	1,20	5,76
re. Oberschenkel	0,12	18	57	2,16	6,84
li. Unterschenkel	0,05	10	20	0,50	1,00
re. Unterschenkel	0,05	22	48	1,10	2,40
li. Fuß	0,02	10	4	0,20	0,08
re. Fuß	0,02	8	37	0,16	0,74
li. Hand	0,01	38	78	0,38	0,78
re. Hand	0,01	7	66	0,07	0,66
Summe:				11,10	67,05

Tabelle 2: Berechnung des Körperschwerpunktes

Aus der Summe der R_{ix_i} und R_{iy_i} kann man direkt die Koordinaten des Körperschwerpunktes ablesen. Wie man sieht, stimmt er mit dem in der Zeichnung eingezeichneten Schwerpunkt überein. Kleine Abweichungen ergeben sich in diesem Fall nur durch Rundungsfehler. Jeder Teilschwerpunkt geht in das rechnerische Verfahren durch seine Gewichtung mit der entsprechenden Teilmasse ein. Der gefundene Körperschwerpunkt liegt etwa auf der Höhe des Bauchnabels.

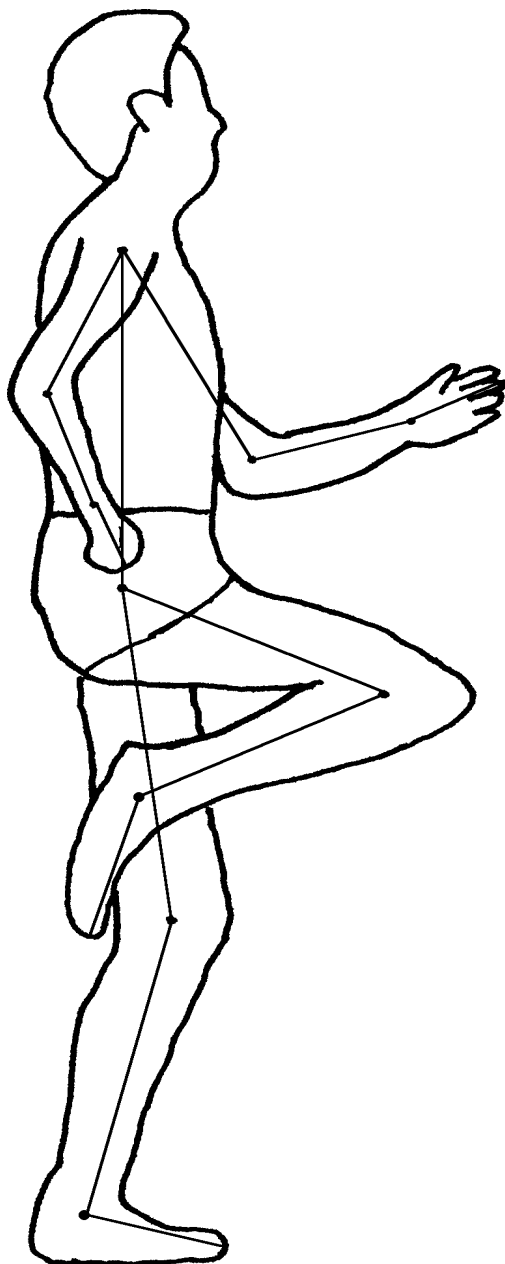
Mit dem Verfahren von Knoll/Eggers lassen sich jetzt auch Untersuchungen in den unterschiedlichsten Körperpositionen anstellen. Der KSP läßt sich punktuell bestimmen und kann somit relativ genau ermittelt werden. Führt man z.B. Videoaufnahmen durch, so kann man mit geeigneter Soft- und Hardware den Verlauf des Körperschwerpunktes auch bei komplizierten Bewegungen erfassen. In der Kombination mit Kraftmessungen ergeben sich dabei sehr gute Möglichkeiten zur Bewegungsanalyse.

Es muß aber auch angemerkt werden, daß die grafische Schwerpunktsbestimmung mit Fehlern behaftet ist. Grundsätzlich wird ein Körpermodell angenommen, mit dem alle Untersuchungen durchgeführt werden. Die individuellen Körperproportionen spielen dabei keine Rolle. Um dieses Manko auszugleichen, wird in der Biomechanik heute schon mit Modellen gearbeitet, die die Körpermaße des Probanden mit einschließt. Dadurch erreicht man eine erhöhte Genauigkeit. Ein weiteres Problem ergibt sich aus der nicht konstanten Massenverteilung in einem Körpersegment. Muskeln sind nicht statisch und verändern ihre Gestalt bei Bewegungen. Dies hat natürlich Einfluß auf die Lage des Teilschwerpunktes eines Segmentes. Und letztlich ist die Markierung der Körpergelenkspunkte mit Fehlern behaftet. Trotz dieser, die Genauigkeit einschränkenden Punkte, ist die grafische Bestimmung des Körperschwerpunktes ein häufig eingesetztes Verfahren.

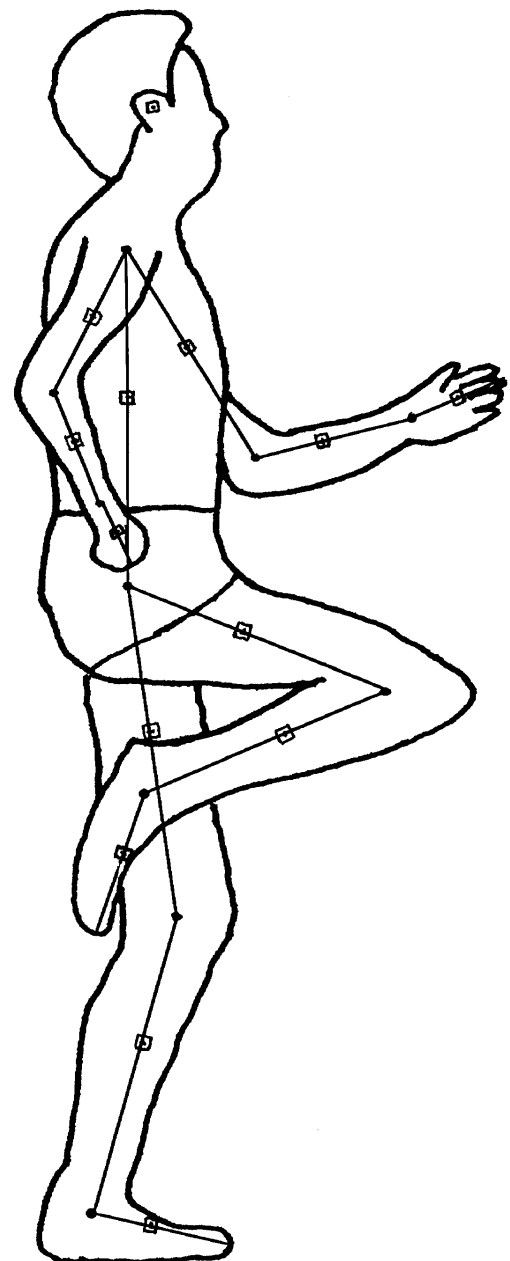
Literatur:

WILLIMCZIK, K. (Hrsg.): Biomechanik der Sportarten. Reinbek 1989

Gelenkpunkte und Körpersegmente



Gelenkpunkte und Teilschwerpunkte



Körperteil	rel. Gew.	xi	yi	Rixi	Riyi
Kopf	0,07	11	104	0,77	7,28
Rumpf	0,43	8	78	3,44	33,54
li. Oberarm	0,03	13	82	0,39	2,46
re. Oberarm	0,03	5	85	0,15	2,55
li. Unterarm	0,02	26	74	0,52	1,48
re. Unterarm	0,02	3	74	0,06	1,48
li. Oberschenkel	0,12	10	48	1,20	5,76
re. Oberschenkel	0,12	18	57	2,16	6,84
li. Unterschenkel	0,05	10	20	0,50	1,00
re. Unterschenkel	0,05	22	48	1,10	2,40
li. Fuß	0,02	10	4	0,20	0,08
re. Fuß	0,02	8	37	0,16	0,74
li. Hand	0,01	38	78	0,38	0,78
re. Hand	0,01	7	66	0,07	0,66
Summe:				11,10	67,05

Körperteil	rel. Gew.	xi	yi	Rixi	Riyi
Kopf	0.07				
Rumpf	0.43				
li. Oberarm	0.03				
re. Oberarm	0.03				
li. Unterarm	0.02				
re. Unterarm	0.02				
li. Oberschenkel	0.12				
re. Oberschenkel	0.12				
li. Unterschenkel	0.05				
re. Unterschenkel	0.05				
li. Fuß	0.02				
re. Fuß	0.02				
li. Hand	0.01				
re. Hand	0.01				

Körpermodell im Koordinatensystem

