

**TRAINER  
BULLETIN-  
ENTRAINEUR**

**BIOMECHANIK DER  
LEICHTATHLETIK**

**TEIL SPEERWURF**

## Äussere Kräfte

Zu den äusseren Kräften gehören die Schwerkraft, die Luft- und Wasserkraft und die Reibungskraft.

Die Erdanziehungskraft bewirkt, dass der Körper nicht nur eine Masse, sondern auch ein Gewicht hat. Sie wirkt kontinuierlich, sowohl im Liegen, als auch im Stehen und beim Sporttreiben. Bei jedem Schritt muss mit der eigenen Muskulatur die Erdanziehungskraft überwunden werden. Bei einem Sprung oder Wurf in die Höhe wird der Körper oder das Gerät wieder auf die Erde zurückgebracht.

Die Erdanziehungs-, Gravitations- oder Schwerkraft ist abhängig von der Masse des Körpers, von der Masse der Erde, dem Erdradius und einer Gravitationskonstanten.

Die Schwerebeschleunigung wird definiert als Gravitationskonstante x Erdmasse / Erdradius<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich für

$$g = 9.81 \text{ m / sec}^2 \text{ und für } F_G = \text{kg} \times 9.81 \text{ m/ sec}^2 = 9.81 \text{ N}$$

Die Schwerebeschleunigung wirkt sich dahingehend aus, dass z.B. beim freien Fall die Geschwindigkeit des Körpers immer mehr zunimmt und so beispielsweise ein Stabhochspringer, der 6 m hoch springt bei der Landung eine deutlich grössere Landegeschwindigkeit und demnach einen grösseren Impuls hat als ein Springer, der nur 3 m hoch springt.

Die geringere Erdanziehungskraft, kombiniert mit dem geringeren Luftwiderstand, haben 1968 bewirkt, dass in Mexiko, bei den olympischen Spielen, die Leistungen in den Kurzstrecken- den Sprung- und Wurfdisziplinen überdurchschnittlich gut ausgefallen sind.

Die Schwerkraft bestimmt auch, mit welchen Abflugwinkeln möglichst hoch, beziehungsweise weit gesprungen und geworfen werden kann.

Um eine möglichst grosse Flughöhe zu erreichen gilt die Formel:

$$H = v_0^2 / 2g \times \sin^2\alpha$$

Da  $\sin 90^\circ = 1$  und damit das Quadrat am grössten ist, ergibt sich für maximale Sprunghöhen ein optimaler Abflugwinkel von  $90^\circ$ . Weil aber im Hochsprung bei einem Abflugwinkel von  $90^\circ$  der Springer auf die Latten fallen würde und somit die Latte nicht überqueren kann, ergeben sich für den Flop Abflugwinkel von  $50 - 55^\circ$  und für den in dieser Beziehung theoretisch besseren Straddle Abflugwinkel von  $55 - 60^\circ$ .

Der optimale Abflugwinkel im Hinblick auf eine möglichst grosse Sprung- beziehungsweise Wurfweite ergibt sich aus der Formel:

$$W = v_0^2 / g \times \sin 2 \alpha$$

Da  $\sin 90^\circ = 1$  ist, beträgt der optimale Abflugwinkel  $45^\circ$ .

Beim Speerwerfen ist auch die Abfluggeschwindigkeit die entscheidende Grösse. Hier sind aber steilere Abflugwinkel möglich (Abbildung 17). Der optimale Abflugwinkel liegt beim Speerwerfen bei  $35 - 38^\circ$ . Er ist deswegen tiefer als  $45^\circ$ , weil der Speer Segeleigenschaften hat und die Landeebene leicht tiefer ist als die Abwurfebene (siehe auch Abbildung 5). Beim Diskuswerfen ist die Situation ähnlich wie beim Speerwerfen, wogegen beim Hammerwerfen und beim Kugelstossen der optimale Abflugwinkel, auch in Abhängigkeit der Wurfweite, knapp unter  $45^\circ$  liegt.

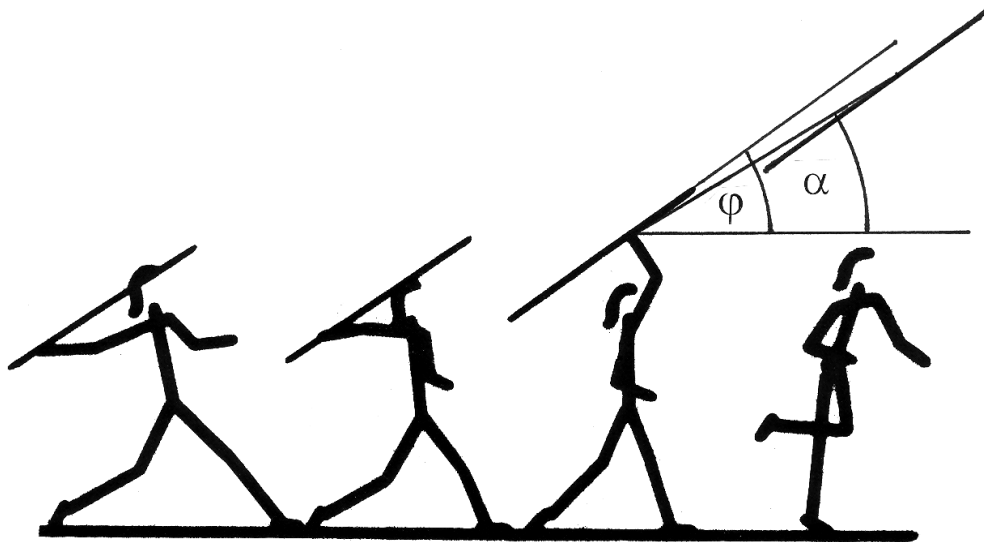


Abbildung 17: Abflug- und Anstellwinkel beim Speerwerfen

Luft- und Wasserkraft sind Widerstände, welche die Bewegung beeinträchtigen. Die Wasserkraft hat in der Leichtathletik keine Bedeutung. Der Luftwiderstand ist abhängig von der Widerstandszahl, der Dichte der Luft, der Strömungsgeschwindigkeit und der Stirnfläche.

$$F_L = c_w \times \rho / 2 \times v^2 \times A$$

Die Widerstandszahl ist abhängig z.B. von der Bekleidung. Sie spielt in der Leichtathletik keine grosse Rolle, weil die Strömungsgeschwindigkeit nicht so gross ist wie beispielsweise beim Radfahren oder beim Skiabfahrtslauf. Die Dichte der Luft ist deutlich geringer als die Dichte des Wassers und dementsprechend ist auch der Widerstand geringer. Die Dichte nimmt auch mit zunehmender Höhe ab, was bedeutet, dass in der Höhe deswegen schneller gelaufen werden kann. Die entscheidende Grösse beim Luftwiderstand ist die Strömungsgeschwindigkeit, weil sie im Quadrat in der Formel enthalten ist. Das heisst: Eine Verdoppelung der Geschwindigkeit bedeutet einen 4 mal so grossen Widerstand. Schnelle Sprinter sind in bezug auf den Luftwiderstand vor allem bei Gegen-

wind gegenüber den langsamen etwas benachteiligt, weil sie einen grösseren Luftwiderstand überwinden müssen.

Bei den Wurfdisziplinen und dort vor allem beim Speer- und Diskuswerfen spielt die Luftkraft eine entscheidende Rolle. Wenn der Speer perfekt in die Luft abgegeben wird, das heisst der Anstellwinkel  $\varphi$  und der Abflugwinkel  $\alpha$  identisch sind, ist der Luftwiderstand von vorne gering. Mit zunehmender Differenz zwischen Anstell- und Abflugwinkel, also einer grossen Stirnfläche  $A$ , nimmt auch der Luftwiderstand zu und dies vor allem bei hohen Abfluggeschwindigkeiten (siehe Abbildung 17). In der Flugphase, wenn sich der Anstellwinkel des Gerätes in Richtung horizontale Position verändert, erhält der Speer einen Auftrieb, weil die Luftstromlinien oberhalb des Gerätes enger sind als unterhalb. Diese Situation ist vergleichbar mit einem Tragflügel eines Flugzeugs. Beim Diskuswerfen muss der Anstellwinkel des Diskus etwa  $10^\circ$  kleiner sein als der Abflugwinkel, weil sich im Gegensatz zum Speerwerfen die Lage des Diskus in der Luft nicht verändert. Ein steiler Anstellwinkel würde in den Diskus gegen Ende der Flugphase steil abstürzen lassen. Beim Kugelstossen und vor allem beim Hammerwerfen wirkt der Luftwiderstand in Abhängigkeit der Angriffsfläche und der Geschwindigkeit der Kugel. Geräte mit kleinen Durchmessern sind somit vorteilhaft.

Der Luftdruck hat in der Leichtathletik insofern eine Bedeutung, als beispielsweise in der Höhe auch der Sauerstoffpartialdruck abnimmt und deshalb weniger Sauerstoff ins Blut diffundieren kann.

In der Leichtathletik hat in bezug auf die Reibungskräfte nur die Haftreibung eine gewisse Bedeutung. Sie spielt beispielsweise beim Kurvenlaufen im Sprint oder beim Hochsprung und beim Abspringen eine wichtige Rolle. Die Haftreibung wird durch die Beschaffenheit der Schuhsohlen, der Spikeslänge und durch die Unterlage bestimmt. Bei nassem Boden nimmt auf gewissen Kunststoffbelägen die Haftreibung stark ab.

## Arbeit, Leistung

Unter Arbeit wird im physikalischen Sinn Kraft x Weg verstanden.

$$\text{Arbeit} = \text{Newton} \times \text{m} = \text{kg} \times \text{m} / \text{sec}^2 \times \text{m} = 1 \text{ Joule}$$

Arbeit wird dann verrichtet, wenn der eigene Körper oder fremde Körper in ihrer Lage verändert werden, beispielsweise beim Heben von Gewichten (Abbildung 18). Im physikalischen Sinn wird Haltearbeit nicht als Arbeit bezeichnet.

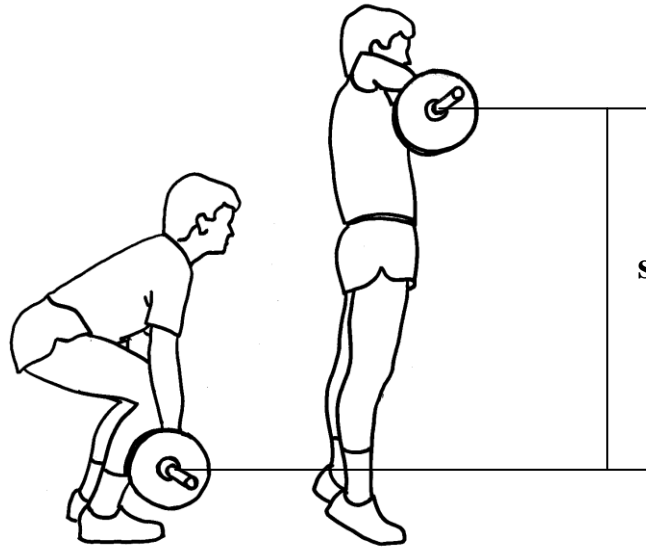


Abbildung 18: Arbeit beim Heben einer Hantel

Die Arbeit, die beim Heben einer Hantel produziert wird, ist das Gewicht der Hantel x die vertikale Distanz  $s$ , um die das Gewicht gehoben wird. Die Arbeit wird demnach bestimmt durch die Grösse des Widerstands und den Beschleunigungsweg. Da bei langen Beschleunigungswegen mehr Arbeit verrichtet werden kann, sind sowohl bei den Leichtathletikdisziplinen als auch beim Konditionstraining tendenziell lange Beschleunigungswege anzustreben.

Die Arbeit allein ist nur ein Teil der Leistungsfähigkeit. Massgebend ist, in welcher Zeit eine Arbeit verrichtet wird. Die Leistung wird demnach definiert als

Arbeit pro Zeit oder Kraft x Geschwindigkeit.

$$\text{Leistung} = \text{Newton} \times \text{m} / \text{sec} = \text{kg} \times \text{m} / \text{sec}^2 \times \text{m} / \text{sec} = 1 \text{ Watt}$$

Die Leistung wird demnach bestimmt durch den Widerstand und die Geschwindigkeit, mit der ein Körper bewegt wird. Die grössten Leistungen können mit mittleren Widerständen erreicht werden. Bei grossen Widerständen nimmt die Bewegungsgeschwindigkeit stark ab, bei kleinen Widerständen kann die Geschwindigkeit nicht entsprechend gesteigert werden.

In der Leichtathletik geht es darum, die Leistung zu maximieren. Auf das Heben von Gewichten umgesetzt bedeutet dies, dass es nicht primär darum geht, mög-

lichst viel Gewicht zu heben, wie dies die Gewichtheber anstreben, sondern dabei eine möglichst grosse Leistung zu vollbringen. Dazu gehört dass lange Beschleunigungswege angestrebt werden.

Bei der Leistung kann unterschieden werden zwischen momentaner Leistung, die beispielsweise auf einer Kraftmessplatte bei einem Absprung bestimmt werden kann und der Leistung über eine bestimmte Zeit oder Anzahl Wiederholungen. Bei Springern und Werfern ist die momentane maximale Leistung massgebend, bei 400-m-Läufern beispielsweise die mittlere Leistung über die 400 m.

## Energie

Die Energie ist nichts anderes als gespeicherte Arbeit. Deshalb wird für die Energie auch Joule als Masseinheit verwendet. Energie entsteht dadurch, dass beispielsweise ein Gewicht gehoben oder eine Feder gespannt werden und dadurch Energie gespeichert wird. Die Energie kann unterteilt werden in potentielle und kinetische Energie.

Die potentielle Energie wird definiert als Masse x Schwerebeschleunigung x gehobene Strecke

$$\text{Energie}_{\text{pot}} = \text{kg} \times 9.81 \text{ m / sec}^2 \times \text{m} = 1 \text{ Joule}$$

Ein gehobenes Gewicht oder eine gespannte Feder haben potentielle Energie. Beim Runterfallen des Gewichts oder beim Entspannen der Feder wandelt sich die potentielle Energie in kinetische Energie um. Die kinetische Energie ist abhängig von der Masse des Körpers und der Geschwindigkeit.

$$\text{Energie}_{\text{kin}} = 1 / 2 \times \text{kg} \times (\text{m / sec})^2 = 1 \text{ Joule}$$

In einem abgeschlossenen System bleibt die Energie konstant. Das heisst, dass beispielsweise bei einem Sprung in die Tiefe zuoberst nur potentielle Energie vorhanden ist und zuunterst sich die potentielle Energie vollständig in kinetische Energie umgewandelt hat.

Aus den obigen Formeln kann anhand der Sprunghöhe die Geschwindigkeit bei der Landung berechnet werden oder wenn beispielsweise beim Hochsprung die Abfluggeschwindigkeit bekannt ist, kann daraus die Sprunghöhe bestimmt werden.

$$\text{Geschwindigkeit} = \sqrt{2 \times g \times s}$$

$$\text{Sprunghöhe} = v^2 / 2 \times g$$

## Speerwerfen

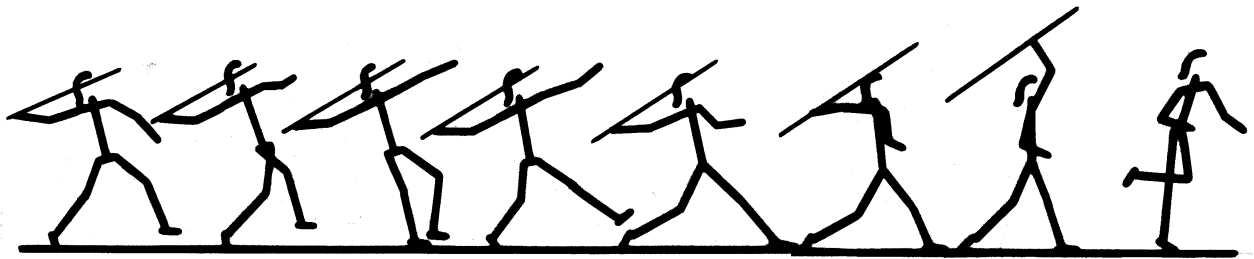


Abbildung 37: Vorbildlicher Bewegungsablauf beim Speerwerfen

**Die Weite im Speerwerfen ist abhängig von der Abflughöhe des Speeres, der Abfluggeschwindigkeit, dem Abflugwinkel, der Speerwinkel-differenz und der Aerodynamik.**

Je weiter die Wurfweite ist, desto geringer ist die Bedeutung der Abflughöhe des Speeres. Theoretisch sind auch hier die grossen Werfer leicht bevorteilt.

Die Abfluggeschwindigkeit  $V_0$  ist die wichtigste Komponente im Hinblick auf die Wurfweite. Es braucht aber eine gute Speerführung, damit eine hohe Abfluggeschwindigkeit in die theoretisch mögliche Weite umgesetzt werden kann.

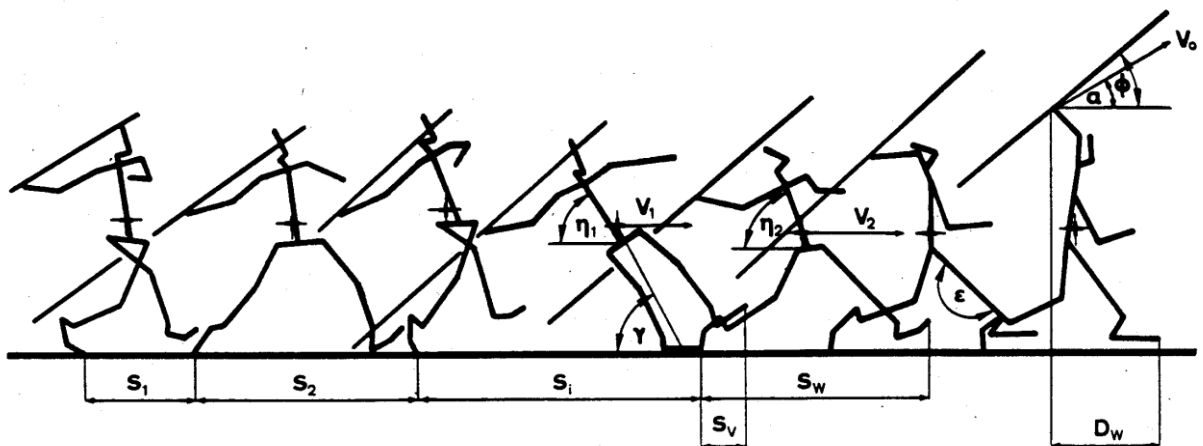


Abbildung 38: Biomechanische Messgrössen beim Speerwerfen

Die Abfluggeschwindigkeit des Speeres kann maximiert werden durch eine möglichst grosse, aber umsetzbare Anlaufgeschwindigkeit  $V_1$ . Das heisst, die Anlaufgeschwindigkeit muss auf die technischen und konditionellen

Fähigkeiten beim Abwurf ausgerichtet sein. Die grösste Geschwindigkeit sollte beim Impulsschritt  $S_i$  erreicht werden. Im Gegensatz zu den Sprungdisziplinen, wo die Geschwindigkeit über eine Erhöhung der Schrittfrequenz gesteigert wird, sollte beim Speerwerfen über grössere Schrittlängen das Tempo erhöht werden. Der Impulsschritt ist der längste Schritt des Anlaufs. Dabei sind die Zielsetzungen nicht nur eine Steigerung der Geschwindigkeit sondern auch das Vorweglaufen der Beine, um einen langen Beschleunigungsweg des Speeres zu erhalten und der Aufbau einer Vorspannung über die Hüfte und die Schulter. Ein wirkungsvoller Impulsschritt drückt sich in einem kleinen Auftreffwinkel  $\gamma$  und einem kleinen Oberkörperwinkel  $\eta_1$  aus.

Eine hohe Geschwindigkeit nach dem Impulsschritt bringt nur dann etwas, wenn danach der Rhythmus hochgehalten werden kann. Dazu ist es wichtig, das linke Bein bei der Landung des rechten Beines bereits relativ weit vorwärts zu bringen (grosse Schrittvorgabe  $S_V$ ). Eine grosse Schrittvorgabe führt trotz grosser Schrittauslage  $S_W$  zu einem schnellen Aufsetzen des linken Beines und damit zum typischen Wurfrhythmus „lang-kurz“. Es wäre grundsätzlich falsch mit der Dreh-Stossbewegung des rechten Beines zu warten bis der linke Fuss Boden gefasst hat. Dies würde zu einem Halt in der Bewegung und dadurch zu einem Geschwindigkeitsverlust führen. Bei guten Speerwerfern kann gelegentlich beobachtet werden, dass die Bewegung des rechten Beines nach dem Impulsschritt so schnell erfolgt, dass sie beim Fussaufsetzen links bereits abgeschlossen ist.

Über die Dreh-Stossbewegung des rechten Beines wird die Körperspannung in der Hüfte aufgebaut. Im Moment des Bodenfassens links ist der Oberkörper noch in Rücklage (kleiner Winkel  $\eta_2$ ) und der Wurfarm weit nach hinten ausgestreckt. Anschliessend wird der Oberkörper aufgerichtet und damit bei weiterhin weit hinten gehaltenem Wurfarm die Schulterspannung aufgebaut. Die Schulterspannung ist auch aus gesundheitlichen Gründen wichtiger als die Hüftspannung. Der Armzug wird über die Schulterspannung eingeleitet. Dadurch, dass das Stemmbein beim Abwurf möglichst durchgestreckt wird (grosser Winkel  $\varepsilon$ ), ist der letzte Handkontakt mit dem Speer hinter dem Fuss des Stemmbeines ( $D_W$ ). Das Stemmbein hat die Funktion, die Vorwärtsenergie des Körpers auf den Speer zu übertragen. Gute Speerwerfer haben dementsprechend nach dem Impulsschritt eine grosse und nach dem Abwurf des Speeres eine kleine horizontale Körperschwerpunktsgeschwindigkeit.

Der ideale Abflugwinkel  $\alpha$  des Speeres liegt im Bereich von  $35 - 38^\circ$ . Es ist wichtig, dass die Winkeldifferenz zwischen dem Anstell- und dem Abflugwinkel des Speeres ( $\varphi - \alpha$ ) möglichst klein ist. Dadurch ist der Luftwiderstand des Speeres gering und die Abfluggeschwindigkeit wird nur we-



nig reduziert. Im Gegensatz zum Diskuswerfen ändert sich beim Speerwerfen, aufgrund des nach vorne geschobenen Schwerpunktes des Gerätes, die Lage des Speeres in der Luft. Nach einer „Segelphase“ mit einem vertikalen Auftrieb senkt sich die Speerspitze langsam nach unten und führt dazu, dass der Speer normalerweise steckt.

Bei Gegenwind soll wegen der grösseren Strömungsgeschwindigkeit von vorne und dem entsprechenden Auftrieb etwas flacher, bei Rückenwind etwas steiler abgeworfen werden. Bei idealer Speerführung kann mit Gegenwind weiter geworfen werden als mit Rückenwind.

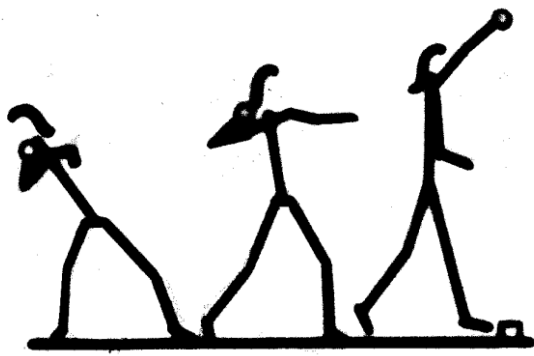
Bei guten Speerwerfern kann häufig beobachtet werden, dass sie den Speer extrem weit zurückführen, sodass der Speer beim Impulsschritt eine grosse Winkeldifferenz zur Wurfrichtung aufweist. Diese Technikvariante führt zu einer extremen Spannung innerhalb des Körpers. Sie führt nur dann zu sehr guten Wurfleistungen, wenn der Werfer in der Lage ist, beim Abwurf zuerst die Beinarbeit abzuschliessen, damit den Speer wieder in die Wurfrichtung zu führen und erst dann mit dem Armzug zu beginnen. Schlechtere Speerwerfer und auch Mehrkämpfer sind bei dieser Technikvariante meistens überfordert.

### **Vergleich der Körperhaltung und der Abflugwinkel bei den Wurfdisziplinen**

Die Abbildung 42 zeigt die Abwurf- (Stoss) Bewegungen bei den 4 Wurfdisziplinen von der Seite gesehen. Beim Betrachten der Reihenbilder fallen einige Gemeinsamkeiten auf:

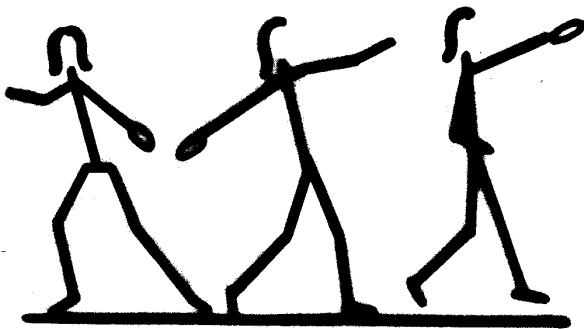
- Deutliche Körperrücklage beim Abwurfbeginn (ausser Hammerwerfen)
- Hüftschub vorwärts-aufwärts durch eine energische Dreh-Stossbewegung des rechten Beines
- Aufrechte Oberkörperhaltung beim Abwurf
- Durchgestreckte Beine, insbesondere Stemmbein beim Abwurf
- Blockierte linke Körperseite beim Abwurf (Stemmbein, Oberkörper, linke Schulter, Schwungarm (ausser Hammerwerfen))
- Blick in Wurfrichtung

Neben gemeinsamen Bewegungsmerkmalen sind aber auch deutliche Unterschiede feststellbar.



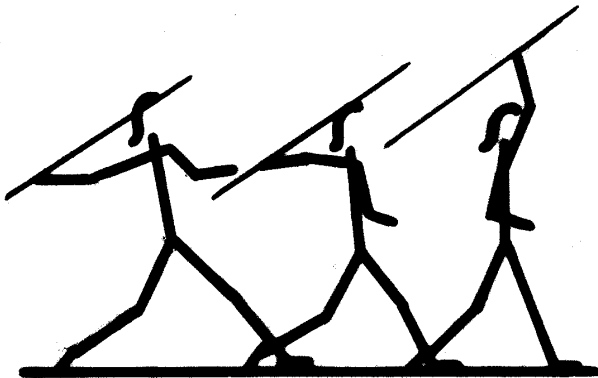
### ***Kugelstossen***

Der relativ steile Abflugwinkel der Kugel von  $40 - 42^\circ$  wird erreicht durch eine tiefe Körperhaltung nach dem Angleiten, das Aufrichten des Oberkörpers, die Hubbewegung des Stossbeines, das Herausspringen der Kugel und das schräg-aufwärts gerichtete Ausstossen des Stossarmes.



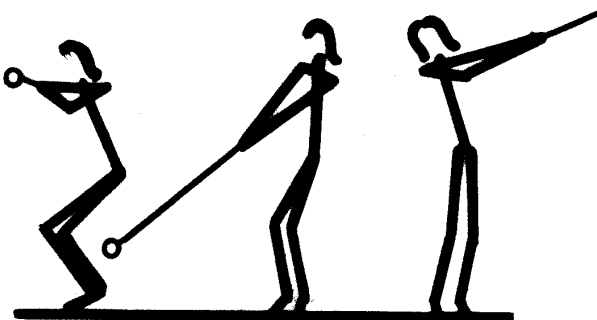
### ***Diskuswerfen***

Um den Diskus auf eine optimale Flugbahn von  $33 - 36^\circ$  zu bringen, braucht es weniger Hubbewegung als beim Kugelstossen. Die Körperhaltung nach dem Drehumsprung ist deshalb aufrechter und höher als beim Kugelstossen. Der Diskus wird durch das Herausspringen auf die richtige Flugbahn gebracht.



### ***Speerwerfen***

Beim Speerwerfen ist ein Abflugwinkel von  $35 - 38^\circ$  optimal. Ein solcher Winkel wird nicht wie beim Kugelstossen und Diskuswerfen über ein Herausspringen, sondern über die Armführung erreicht. Das Stemmbein bleibt beim Abwurf am Boden stehen, der Wurfarm wird von weit hinten hoch über den Kopf geführt



### ***Hammerwerfen***

Beim Hammerwerfen ist der Abflugwinkel mit  $42 - 44^\circ$  am steilsten. Ein solcher Winkel kann erreicht werden durch die zunehmend steilere Hammerbahn, die tiefe Position beim Abwurfbeginn und die totale Beinstreckung bei der Abgabe des Hammers aus dem sicheren Stand

Abbildung 42: Körperhaltung und Abflugwinkel bei den Wurfdisziplinen