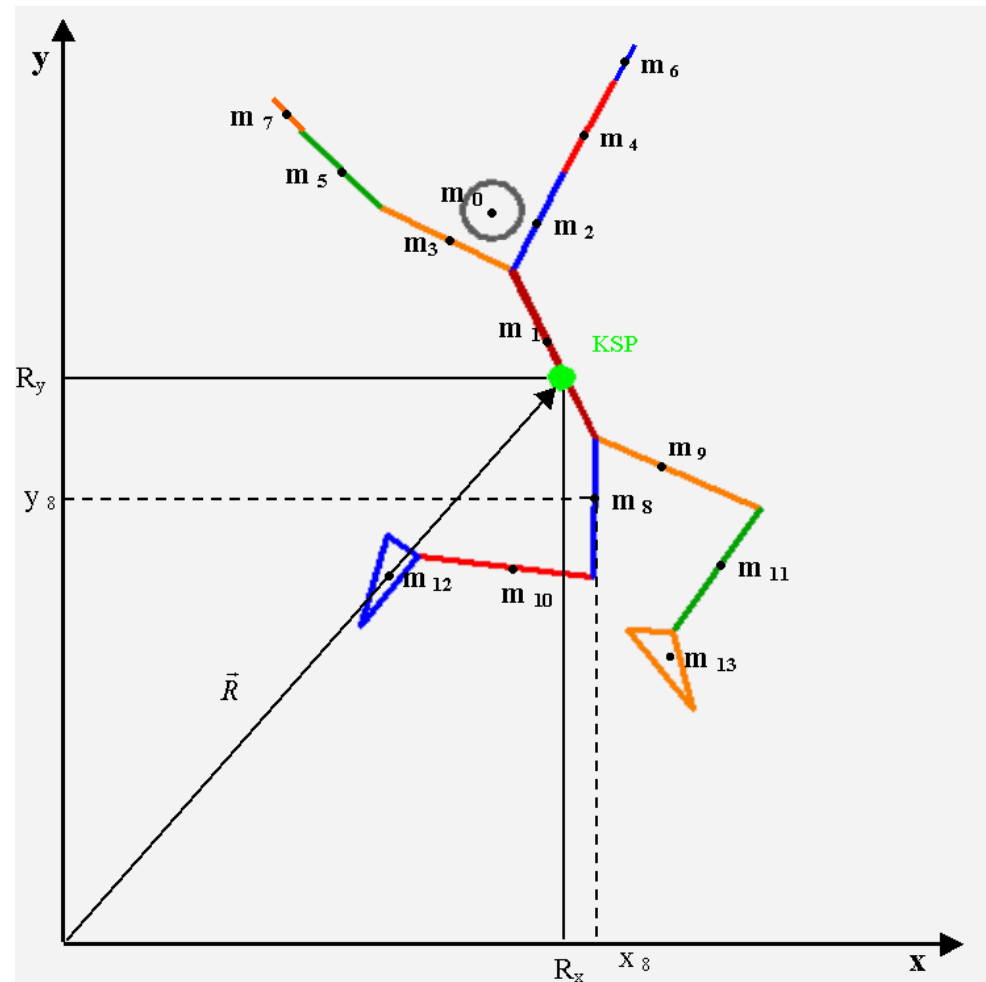




# Grundlagen der Biomechanik

## *Bases de la biomécanique*

Isidor Fuchser  
8.8.2012



## Was ist Biomechanik ?

- Bewegungen entstehen durch das Einwirken von inneren (Muskelkraft) und äusseren Kräften (z.B. Erdanziehung) auf den Körper.
- Aus einem Film können Strecken, Winkel, Zeiten, Geschwindigkeiten bestimmt werden (z.B. Schrittlänge, Schrittfrequenz, Kniewinkel, Laufgeschwindigkeit).

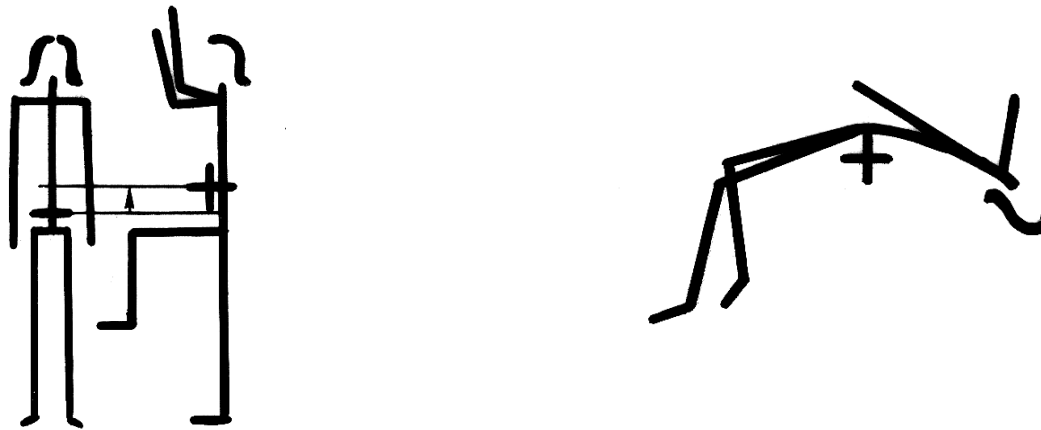




## Kinematik/ Cinématique

Die Kinematik befasst sich mit dem räumlichen und zeitlichen Ablauf von Bewegungen.  
Messgrößen: Längen, Winkel, Zeit, Geschwindigkeit, Beschleunigung

*La cinématique est constituée par le déroulement du mouvement dans l'espace et le temp. Mesures: longueur, angle, temps, vitesse, accélération*



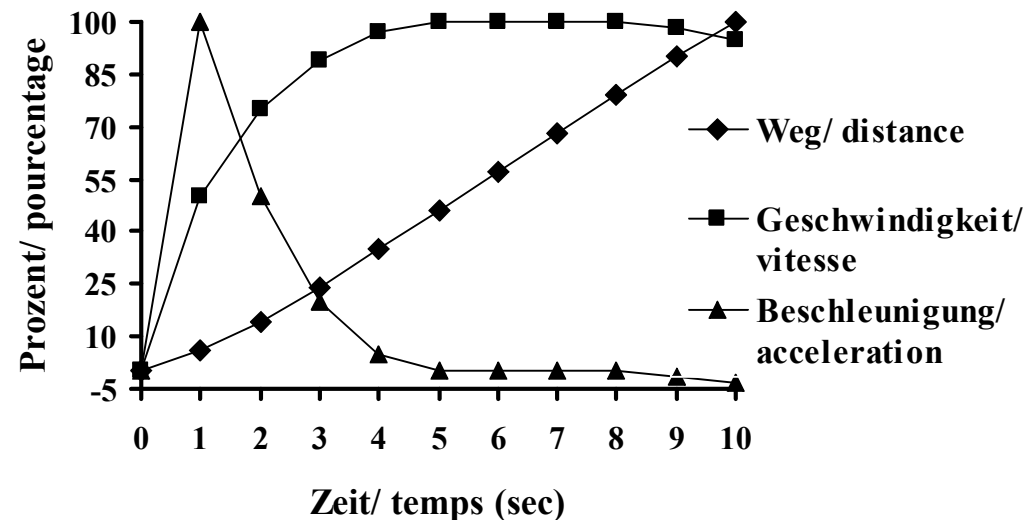
Anheben des Körperschwerpunktes durch Schwungbein- und Armeinsatz,  
Körperschwerpunktlage ausserhalb des Körpers bei der Flop-Lattenüberquerung

*Elévation du centre de gravité à travers la jambe d'élan et les bras.  
Le centre de gravité est amené au-dessus de la barre à l'aide de la technique Fosbury-Flop*



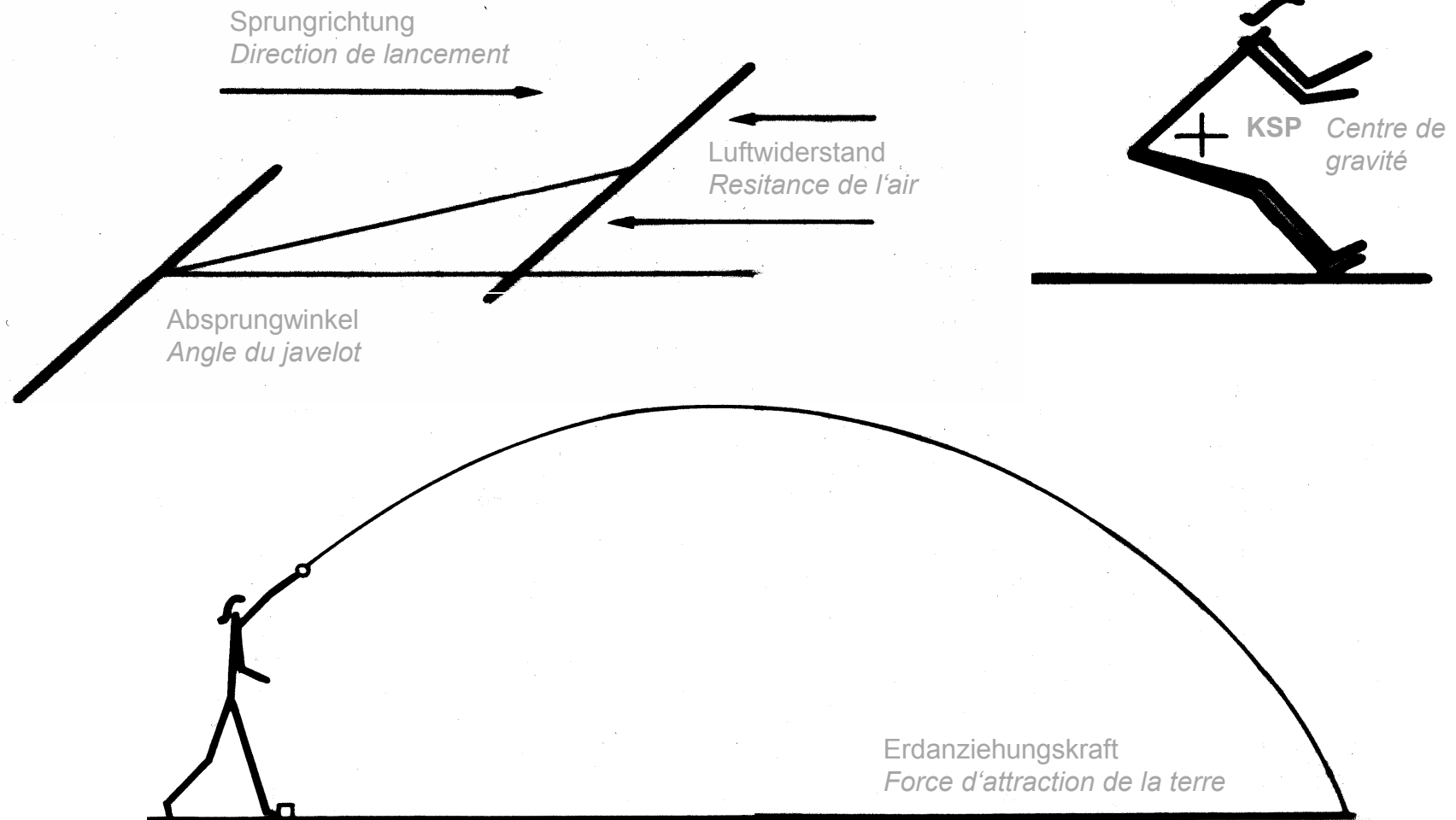
## Kinematik: Lehre von den Bewegungen *Cinématique: principes des mouvements*

- Bei einem 100-m-Sprint in 10.0 sec. können in einem Diagramm die Laufstrecke, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung dargestellt werden.
- Die Geschwindigkeit hat nach 5 Sekunden ihr Maximum.
- Die Beschleunigung ist nach dem Start am grössten.





# Kinetik: Lehre von den Kräften *Cinétique: principes des forces*



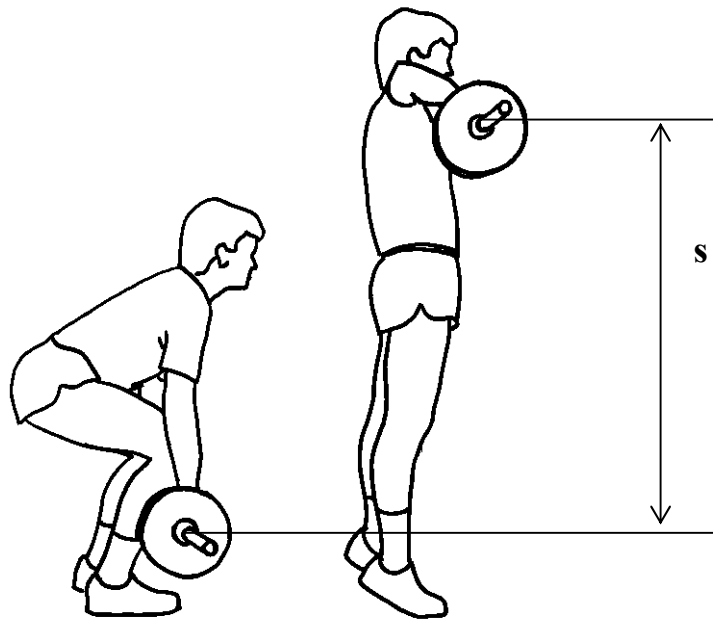


## Arbeit/ Leistung/ Energie

- Arbeit wird dann verrichtet, wenn aufgrund einer Kraftwirkung ein bestimmter Weg zurückgelegt wird (z.B. Heben einer Hantel).
- Die Leistung wird definiert als eine in einer bestimmten Zeit verrichtete Arbeit.
- Arbeit schafft Energie, entweder potentielle Energie (am obersten Punkt der Hantel) oder kinetische Energie (beim Fallenlassen).



## Arbeit und Leistung / *Travail et performance*



Arbeit = Kraft x Weg

$s$  Leistung = Arbeit pro Zeit oder Kraft x Geschwindigkeit

Energie = Masse x Schwerebeschleunigung x Weg

*Travail = force x chemin*

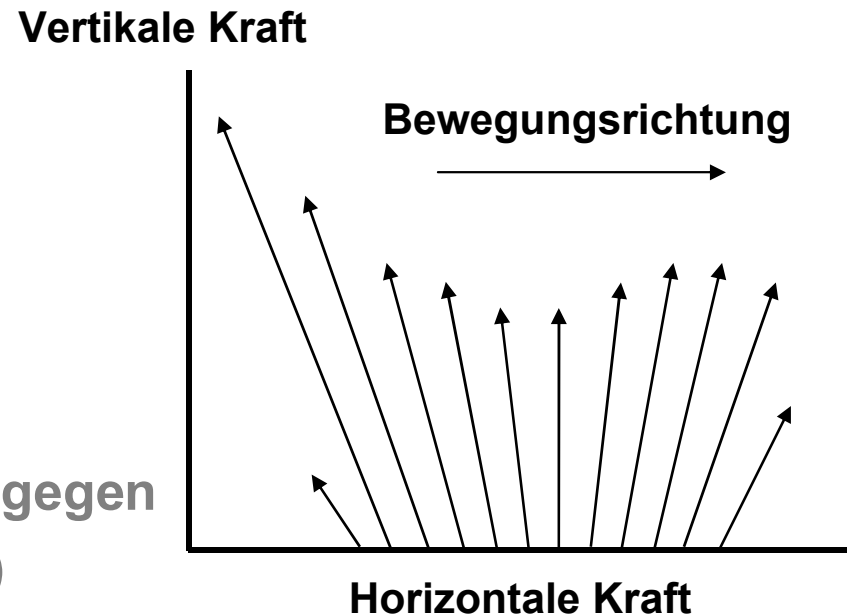
*Performance = travail par unités de tempo ou force x vitesse*

*Energie = masse x accélération du poids x chemin*



## Wichtige Begriffe

- Prinzip der Massenträgheit
- Impuls und Impulsrichtung
- Prinzip : Actio = Reactio
- Trägheitsmoment = Widerstand gegen Rotationsbewegungen (=> Drall)







## Äussere leistungsbeeinflussende Kräfte

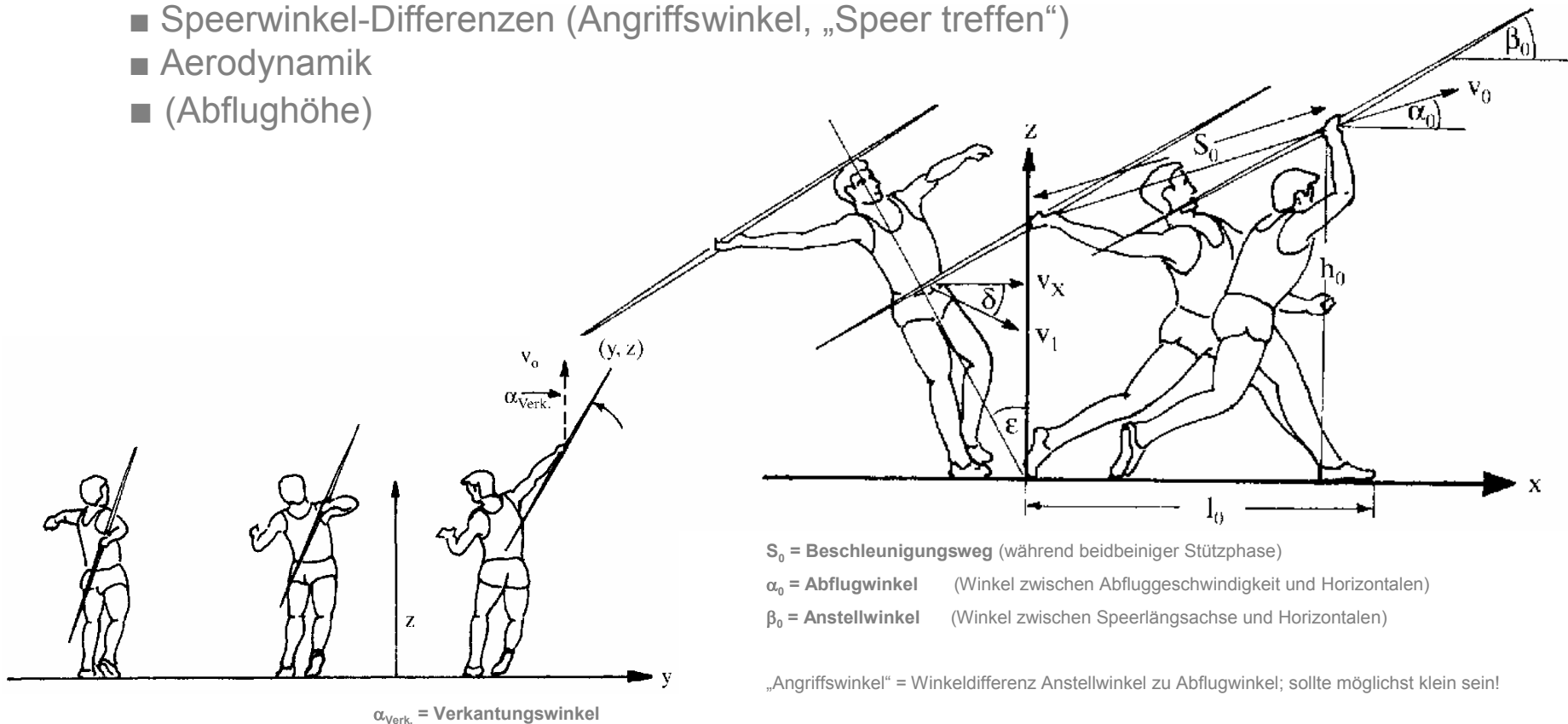
- **Die Erdanziehungskraft** und damit das Körpergewicht sind abhängig von der Höhe über Meer. Auf Meereshöhe ist jeder Körper schwerer als in grosser Höhe.
- Der **Luftwiderstand** ist in der Höhe geringer als im Flachland.
- Deshalb sind in Höhenlagen im **anaeroben Bereich** bessere Leistungen möglich.
- **Reibungskräfte** sind ein Thema bei Kurvenläufen und bei glitschiger Unterlage.



# Biomechanische Aspekte des Speerwerfens

## Biomechanische Komponenten

- Abflugeschwindigkeit [max]
- Abflugwinkel
- Speerwinkel-Differenzen (Angriffswinkel, „Speer treffen“)
- Aerodynamik
- (Abflughöhe)



Quelle: Jonath, Krempel, Haag, Müller

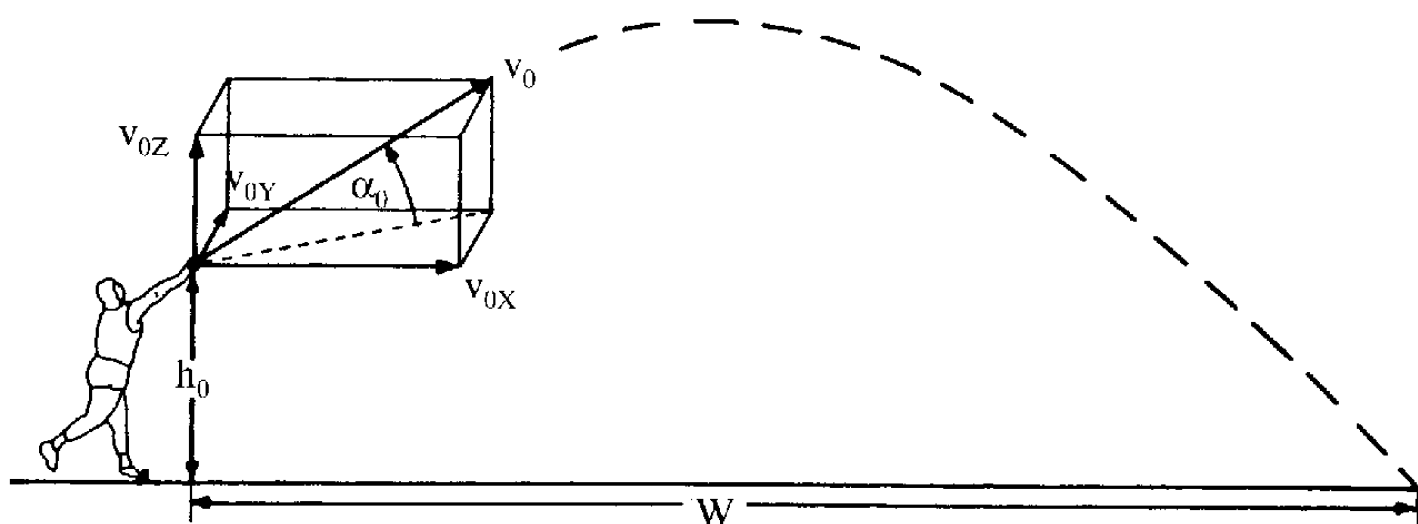


# Biomechanische Aspekte des Kugelstossens

## Biomechanische Komponenten

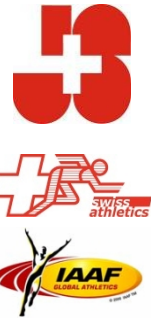
- Abfluggeschwindigkeit
- Abflugwinkel
- Abstosshöhe

**Berechnung:** 
$$W = \frac{v_0^2}{g} \cos \alpha_0 \left( \sin \alpha_0 + \sqrt{\sin^2 \alpha_0 + \frac{2 g h_0}{v_0^2}} \right)$$



$W$  = Weite  
 $v_0$  = Abfluggeschwindigkeit  
 $\alpha_0$  = Abflugwinkel  
 $h_0$  = Abflughöhe

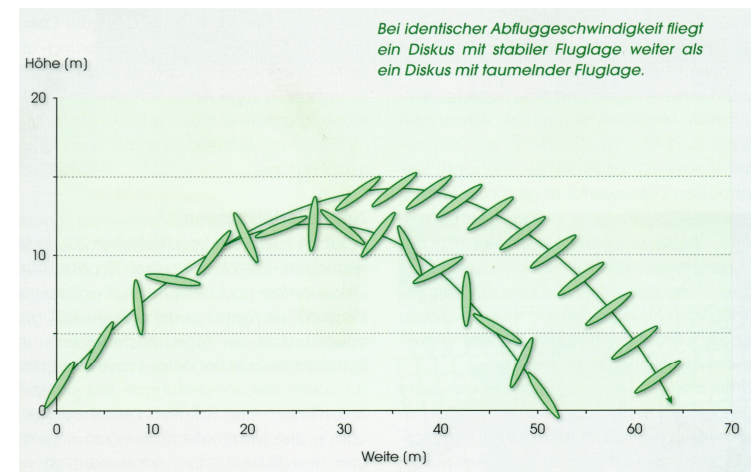
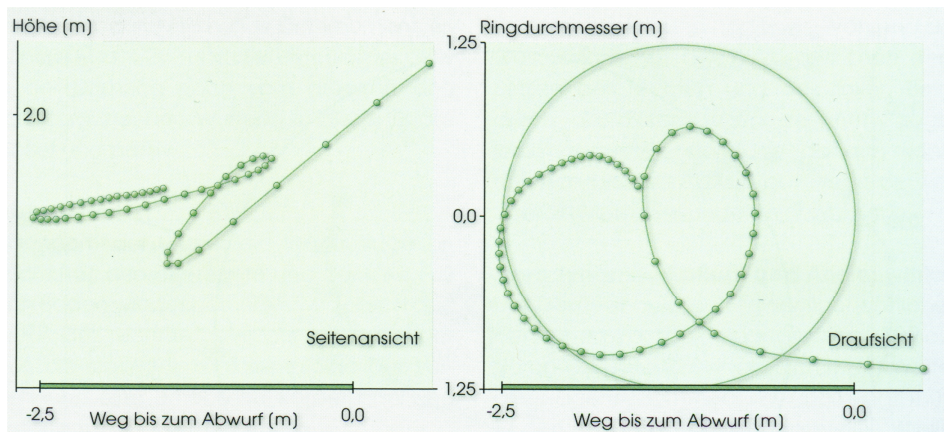
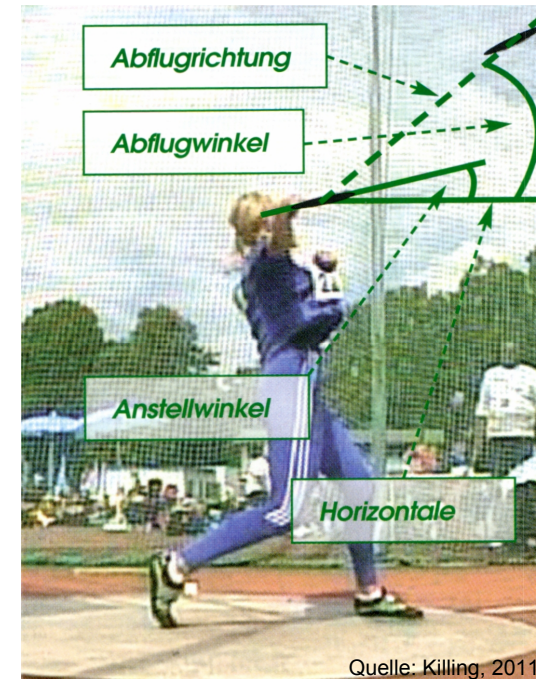
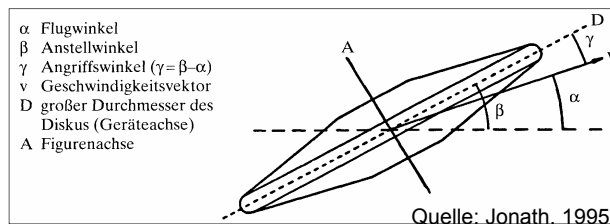
Quelle: Jonath, Krempel, Haag, Müller



## Biomechanische Aspekte Diskus

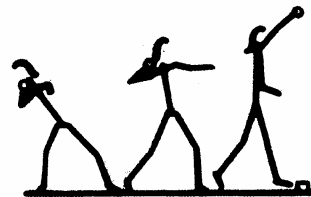
### Biomechanische Komponenten

- Abfluggeschwindigkeit
- Abflugwinkel
- Abwurfhöhe
- Winkeldifferenz (Angriffswinkel)
- Aerodynamik





## Würfe: Unterschiede Körperhaltung und Abflugwinkel



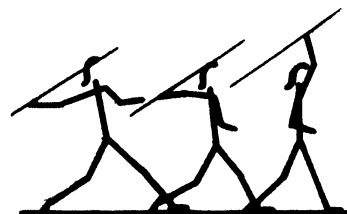
### *Kugelstossen*

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.



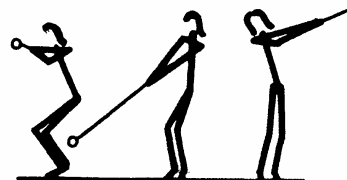
### *Diskuswerfen*

Um den Diskus auf eine optimale Flugbahn von  $33 - 36^\circ$  zu bringen, braucht es weniger Hubbewegung als beim Kugelstossen. Die Körperhaltung nach dem Drehsprung 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.



## Würfe: Biomechanische Gemeinsamkeiten

- Abfluggeschwindigkeit maximieren
  - Genügend langer Beschleunigungsweg
  - > Körper-Verwindung
  - > Optimale Wurfauslage (=Stellung vor Endbeschleunigung)
  
  - Beschleunigung des Komplexes „Werfer-Gerät“ zum Abwurf hin
    - > optimal langes Halten der Körper-Verwindung
    - > Optimale Wurfauslage (=Stellung vor Endbeschleunigung)
    - > Bremskräfte minimieren
  
- Abflugwinkel optimal
  - > Optimale Wurfauslage (=Stellung vor Endbeschleunigung)
  
- Winkel-Differenzen minimieren (Speer+Diskus)
  
- Aerodynamik
  
- Abwurfhöhe (Kugel, Diskus)
  - Ganzkörperstreckung



### Auftrag:

Notiert zu zweit anhand der untenstehenden Liste weitere technische oder trainingspraktische Konsequenzen IN EURER DISZIPLIN.  
Geht von der biomechanischen Forderung aus zu Praxis-Lösungen der Technik.

- Abfluggeschwindigkeit maximieren
  - Genügend langer Beschleunigungsweg
    - > Körper-Verwindung
    - > Optimale Wurfauslage (=Stellung vor Endbeschleunigung)
  - Beschleunigung des Komplexes „Werfer-Gerät“ zum Abwurf hin
    - > optimal langes Halten der Körper-Verwindung
    - > Optimale Wurfauslage (=Stellung vor Endbeschleunigung)
    - > Bremskräfte minimieren
- Abflugwinkel optimal
  - > Optimale Wurfauslage (=Stellung vor Endbeschleunigung)
- Winkel-Differenzen minimieren (Speer+Diskus)
  
- Abwurfhöhe (Kugel, Diskus)
  - Ganzkörperstreckung



# Lösungen





## Speerwurf

### Biomechanische Forderungen

### Trainingspraktische Konsequenzen

- Optimaler Übergang vom zyklischen zum azyklischen Anlaufabschnitt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosiertes Anlaufen mit allmählicher Geschwindigkeitssteigerung</li> <li>• Anlaufkontrolläufe mit Variation von Schrittfrequenz und -länge</li> </ul>
- Optimale Neigungswinkel der Körperlängsachse bei Landung nach dem Impulsschritt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorseilen der Beine durch einen schnellen Impulsschritt, gestreckter Wurfarm, starke Körperrücklage</li> <li>• Parallelität von Hüft-, Schulter- und Speerachse</li> <li>• Fortlaufende Impulsschritte aus dem Gehen und Traben sowie über eine Gasse</li> </ul>
- Möglichst geringe Reduktion der Anlaufgeschwindigkeit während des Fünf-Schritt-Rhythmus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flüssige Speerrückführung, schnelle Beinarbeit mit aktivem Abdrücken und «schlagendem» Aufsetzen der Füße</li> <li>• Flache Ausführung des Impulsschritts</li> <li>• Beweglichmachung des Hüft- und Schultergelenks</li> <li>• Allgemeine Rhythmusschulung, rhythmische Anlaufkontrolläufe mit Abwurfimitation</li> </ul>
- Optimale Impulsübertragung über die Gliedkette «Hüfte-Rumpf-Wurfarm/Speer» während der Stemmphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abbremsen und Gegenstemmen/ Fixieren der linken Seite, Vorbringen der rechten Hüfte, Aufbau der Bogen- spannung durch langes Zurückhalten des Speers</li> <li>• Aktives Vorbringen der rechten Schulter und explosives Nach-vorn- Schlagen des Unterarms («Unterarm- schleuder»)</li> </ul>
- Maximale Abfluggeschwindigkeit des Speers bei gleichzeitig optimalem Anstell- und Abflugwinkel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichst langer Beschleunigungsweg und geringe Speerwinkeldifferenzen</li> <li>• Effektiver Einsatz der Körperkräfte durch explosives Lösen der Bogen- spannung</li> <li>• Würfe bei unterschiedlichen Wind- und Witterungsbedingungen</li> <li>• Korrekte Haltung der Wurfhand</li> </ul>

## Diskus

### Biomechanische Forderungen

### Trainingspraktische Konsequenzen

- Optimale Anfangsbeschleunigung des Systems «Werfer-Gerät»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flüssiges Anschwingen, Absenken des Körperschwerpunkts</li> <li>• Beginn der Drehung mit entspannter Muskulatur</li> </ul>
- Aufbau einer Verwindung zwischen Schulter- und Beckenachse bzw. Schulterachse und Wurfarm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausdrehen des linken Knies, Zurückhalten der rechten Schulter und des Wurfarms mit dem Diskus</li> </ul>
- Schnellstmögliche Überwindung der stützlosen Phase	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flaches Abdrücken nach vorn aus dem linken Fußgelenk, aktives Aufsetzen des rechten Fußes</li> <li>• Schnelle Umsprünge mit greifend- schlagendem Unterschenkel des rechten Beins</li> </ul>
- Verstärkung der Verwindung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterdrehen des rechten Fußes auf dem Ballen, Zurückhalten des Wurf- arms mit dem Diskus, Blickrichtung entgegengesetzt zur Wurfriechung, flaches Aufsetzen des linken Fußes</li> <li>• Drehbewegungen mit Partnerhilfe, der Wurfarm wird zurückgehalten</li> <li>• Umsprünge aus dem Gehen mit schnellem «Vorseilen» der Beine und der Hüfte, Wurf Schulter und -arm bleiben zurück</li> </ul>
- Erreichen einer optimalen Stellung von Werfer und Gerät vor Beginn der Endbeschleunigung des Geräts (= optimale Wurfauslage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebeugtes rechtes Bein, Beckenachse in Wurfriechung, Schulterachse 90 Grad zur Wurfriechung, Wurfarmwinkel zur Wurfriechung mehr als 270 Grad, Hüfte gebeugt</li> <li>• Imitationsumsprünge auf einer Linie mit ständiger Kontrolle der Wurfaus- lage</li> </ul>
- Maximale Endbeschleunigung des Geräts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosive Streck-Drehbewegung, Druck des rechten und Stemmen des linken Beins, Vorbringen der Hüfte, Beschleu- nigung des Geräts auf einer weiten Kreisbahn</li> <li>• Spezielle Kräftigungsübungen für die Rumpfstreckmuskulatur</li> </ul>



## Kugel O'Brian

**Biomechanische Forderungen**

**Trainingspraktische Konsequenzen**

### Rückenstoßtechnik

- Erreichen einer optimalen Startbeschleunigung des Systems Kugel/Athlet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiefe Ausgangsposition, Körpergewicht auf dem rechten Bein, Verlagerung des KSP über das rechte Bein hinaus in Stoßrichtung</li> <li>• Kräftiger Abstoß über die Ferse, aktive, schwungvolle Streckung des linken Beins in Stoßrichtung, möglichst flaches, kurzzeitiges Angleiten, geradlinige Beschleunigung in Stoßrichtung</li> </ul>
- Reduzierung der vertikalen Geschwindigkeitsverluste	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flaches Angleiten mit schnellem aktivem Bodenfassenden der Beine, gleichmäßiges, allmähliches Aufrichten (kein isoliertes Anheben des Oberkörpers), aktives Ziehen des rechten Beins unter den Körper ohne Bremswirkung</li> </ul>
- Aufbau einer Verwindung zwischen Schulter- und Hüftachse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schulterachse ca. 90 Grad zur Stoßrichtung, Drehen des rechten Beins und der rechten Hüfte in Stoßrichtung, Streckung des linken Beins zum Stoßbalken</li> </ul>
- Optimale Kugelweglänge in der Ausstoßbewegung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Individuell optimale Stoßauslage, Kugel möglichst weit zurückhalten, Blick entgegengesetzt zur Stoßrichtung</li> <li>• Fortlaufende Imitationsübungen «Angleiten – Einnehmen Stoßauslage» mit Kontrolle des langen Kugelwegs</li> </ul>
- Größtmögliche Kugelbeschleunigung durch Optimierung der Kräfteübertragung von den Beinen über Hüfte, Rumpf und Schulter auf Stoßarm und Kugel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktive Dreh-Streckung der rechten Körperseite aus dem rechten Bein auf Hüfte, Rumpf und Schulter bei gleichzeitigem Fixieren der linken Körperseite</li> <li>• Explosive Streckung im Ellbogengelenk, Kugel verläßt die Hand bei vollständiger Körperstreckung</li> </ul>
- Optimaler Abflugwinkel durch Anheben des KSP im Ausstoß der Kugel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrolle der korrekten Kugelhaltung</li> <li>• Beinkraftübungen</li> <li>• Standstöße</li> </ul>

## Kugel Drehstoss

**Biomechanische Forderungen**

**Trainingspraktische Konsequenzen**

### Drehstoßtechnik

- Optimale Startbeschleunigung und deren Weiterentwicklung in der Drehbewegung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dreh- und Drehsprungübungen zur Entwicklung von Gleichgewichts- und Orientierungsfähigkeit</li> </ul>
- Reduzierung des horizontalen Geschwindigkeitsverlusts nach dem Umsprung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rhythmische Drehsprünge ohne und mit nachfolgendem Ausstoß</li> </ul>
- Zu Beginn der Stoßauslage Kugelweg mit geringem Radius zur Reduzierung der Fliehkraft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stöße mit Kugeln bzw. Hilfsgeräten aus verschiedenen Drehbewegungen</li> </ul>
- Zu Beginn der Stoßauslage maximale Verwindung von Hüft- und Schulterachse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übungen zur Verbesserung der Beweglichkeit von insbes. schräger Rumpfsowie Schulter- und Hüftmuskulatur</li> </ul>
- Hoher Spannungsaufbau im Körper durch Stütz- und Stemmbeineinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kräftigung der Rumpf- und Schultermuskeln, auch reaktive Belastungen</li> <li>• Kräftigung von Druck- und Stemmbein entsprechend der geforderten Arbeitsweise</li> </ul>
- Hohe Winkelgeschwindigkeit beim Auflösen der Verwindung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medizinballübungen für schräge Rumpfsowie Schulter- und Hüftmuskulatur</li> <li>• Sprungtraining</li> </ul>
- Impulsübertragung durch «Blocken» zur Gewährleistung des Übergangs von rotatorischer zu geradliniger Bewegungsrichtung von KSP und Kugelweg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übungen mit bewußtem Heranführen des linken Arms an die linke Körperseite zur Blockbildung</li> </ul>
- Hohe Abfluggeschwindigkeit $v_0$ durch aufeinanderfolgenden Einsatz der beteiligten Hauptmuskulaturgruppen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprungübungen aus Drehungen mit Ausstoß</li> <li>• Ausstoßübungen ohne Beineinsatz</li> <li>• Imitationsübungen ohne/mit Kugel</li> </ul>
- Hohe Abflughöhe $h_0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sprungtraining, Beinkrafttraining</li> </ul>
- Optimaler Abflugwinkel durch Stütz- und Stemmbeineinsatz (Anhebung des KSP durch explosive Hebelwirkung des Stemmbeins)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kräftigung des Stemmbeins für Bremsarbeit</li> <li>• Schnellkräftigung des Stütz- und Druckbeins für Streckung</li> <li>• Kontrolle der korrekten Kugelhaltung</li> </ul>