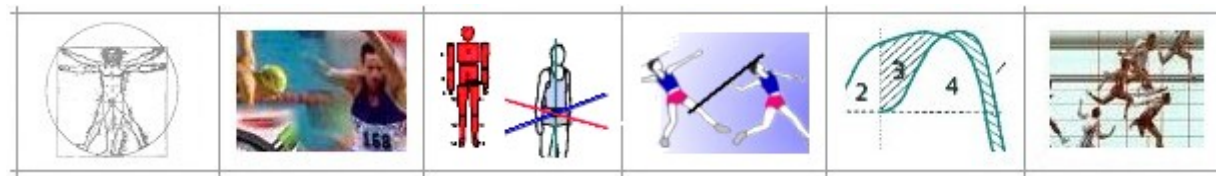




Einführung in die Biomechanik



Dipl. Sportwiss.

Iris Urban



- Was ist Biomechanik?
- Einteilung der Biomechanik
- Aufgaben und Einsatzgebiete
- Grundgesetze der klassischen Mechanik
- Biomechanische Prinzipien
- Wichtige Begriffe und Zusammenhänge



Grundlegendes:

1. Die Biomechanik des Sports ist eine naturwissenschaftliche Teildisziplin der Sport- bzw. Bewegungswissenschaft.
2. Gegenstand biomechanischer Untersuchung sind die äußerlich in Erscheinung tretenden Bewegungen im Sport.
3. Die Biomechanik bezeichnet eine Symbiose aus Physik und biologischen Organismen.
4. Mit Modellen und Begriffen der Mechanik wird versucht biologische Gesetzmäßigkeiten zu determinieren.



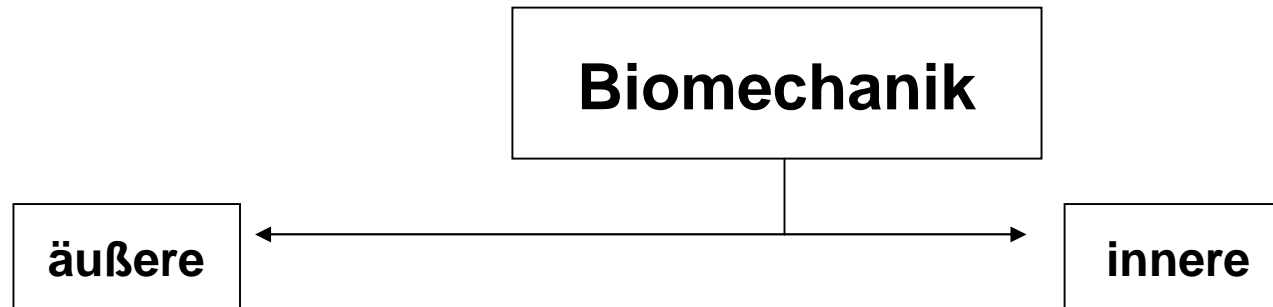
Definition:

"Die Biomechanik des Sports untersucht die sportlichen Bewegungen des Menschen und die mechanischen Bedingungen dieser Bewegung.

Merkmale und Eigenschaften der Bewegung werden gemessen, quantitativ beschrieben, miteinander verglichen, unter Anwendung mechanischer Gesetzmäßigkeiten modelliert (mathematische und physikalische Modelle) mit dem Ziel , die sportliche Leistung aufgrund gesicherter Erkenntnisse über ihre wesentlichen Komponenten zu verbessern.

Die wissenschaftlichen Grundlagen der Biomechanik sind die Mechanik sowie die biologischen Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten der Bewegungssteuerung."

(Baumann 1989, Grundlagen der Biomechanik)



1. untersucht Ortsveränderungen von Körpern mit Hilfe der Mechanik
2. ist eingeteilt in die Kinematik und Dynamik



Kinematik (gr.: *kinema*, Bewegung):

Lehre der Bewegung von Punkten und Körpern im Raum

Beschrieben durch die Größen:

- Weg s (Änderung der Ortskoordinate)
- Geschwindigkeit v und Beschleunigung a

ohne die Ursachen der Bewegung (Kräfte) zu betrachten.



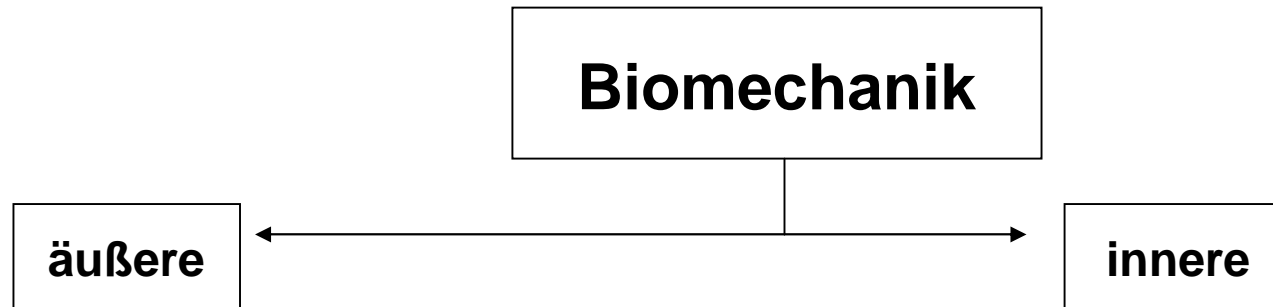
Dynamik (Gegenstück zur Kinematik):

Beschäftigt sich mit der Bewegung von Körpern unter Einwirkung von Kräften

Unterscheidung zwischen:

- **Statik** (Kräfte in unbewegten Systemen)
- **Kinetik** (Bewegung von unter Einwirkung von Kräften beschleunigter Körper)

Kinematik und Dynamik sind Teilgebiete der Mechanik.



1. untersucht Ortsveränderungen von Körpern mit Hilfe der Mechanik
2. ist eingeteilt in die Kinematik und Dynamik

ist gegliedert in

1. aktive und passive innere Kräfte
2. aktive und passive äußere Kräfte.



Aktive innere Kräfte	sind Muskelkräfte, die den Körper oder Teilkörper in Bewegung versetzen
Passive innere Kräfte	Darunter werden die Elastizitätseigenschaften der Muskulatur und des Bindegewebes verstanden.
Aktive äußere Kräfte	Aktive äußere Kräfte sind Kräfte, die den menschlichen Körper oder ein Sportgeräte in Bewegung versetzen. Beispiele sind Wind beim Segeln, Strömung beim Schwimmen etc...
Passive äußere Kräfte	Die passiven äußeren Kräfte ermöglichen überhaupt die Bewegung. Die Trägheit des Wassers ermöglicht das Schwimmen. Die passiven äußeren Kräfte können jedoch auch hinderlich sein. (z.B. Sprint auf Eisfläche)

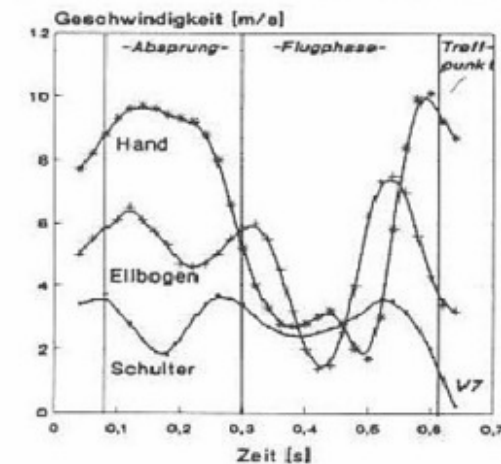


1. Mechanische Beschreibung und Erklärung sportlicher Bewegungsabläufe
2. Analyse sportlicher Technik und deren fortschreitende Optimierung
3. Identifikation und Gewichtung der biomechanischen Einflussgrößen der sportlichen Bewegung
4. Aufstellung biomechanischer Normwerte, Gesetze und Prinzipien
5. Analyse von Technik- und Konditionsübungen im Hinblick auf ihre Effizienz für die Entwicklung der motorischen Leistung
6. Definition spezieller Messverfahren zur Erfassung des motorischen Eigenschafts- und Leistungsniveaus (Kraft, Körperbau)
7. Analyse der mechanischen Belastung des menschlichen Bewegungsapparates bei sportlichen Bewegungen



Unterschiedliche Einsatzgebiete:

- Leistungssport
- Präventivsport
- Anthropometrie (Körperbaumerkmale)
- Ergonomie
-





Fundament der klassischen Mechanik:

Grundgesetze der Bewegung oder auch die Newtonschen Axiome.



Exkurs:

Im Jahre 1687 erschien Isaac Newtons berühmtes Werk Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie), in dem Newton drei Grundsätze der Bewegung formuliert, die auch als die Newtonschen Axiome bekannt sind.

Sie werden in Newtons Werk mit *Lex prima*, *Lex secunda* und *Lex tertia*, insgesamt mit *Axiomata, sive leges motus* bezeichnet.

Diese Gesetze bilden das Fundament der klassischen Mechanik. Sie werden heute aber nicht mehr unbedingt als *Axiome* angesehen, weil sie sich als Folgerungen aus moderneren Grundsätzen, die über die klassische ‚newtonsche‘ Physik hinausgehen, ableiten lassen.



1. Newtonsches Gesetz:

Trägheitsgesetz



Ein Körper verharrt in seinem Zustand der gleichförmiger Bewegung solange keine Kraft auf ihn einwirkt.

Beispiel: Ein Fahrzeug steht in Ruhe auf der Straße. Um diesen Zustand zu verändern muss eine Kraft auf das Fahrzeug wirken. Ist das Fahrzeug in Bewegung wirken äußere aktive Kräfte auf ihn ein (Windwiderstand und Reibung). Kräfte die ein Fahrzeug beschleunigen können sind Motor und Hangabtriebskraft.



2. Newtonsches Gesetz:

Beschleunigungsgesetz oder Aktionsprinzip

Die Änderung der Bewegung ist proportional zur einwirkenden Kraft und geschieht in die Richtung, in der jene Kraft wirkt. Dieses Gesetz besagt, dass eine Kraft nötig ist, um einen Körper zu beschleunigen.

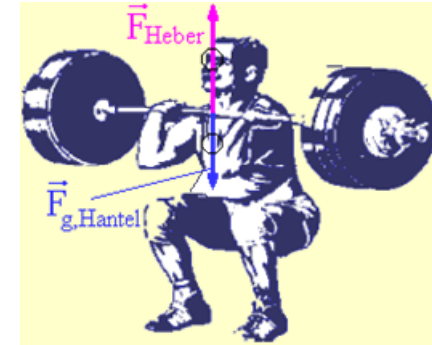
Zusammenhang: $F=m \cdot a$ (Kraft= Masse*Beschleunigung)

Die Beschleunigung eines Körpers ist umso größer, je größer die auf den Körper wirkende Kraft ist und je kleiner die Masse des Körpers ist.



3. Newtonsches Gesetz:

Gegenwirkungsgesetz



Zu einer wirkenden Kraft entsteht immer auch eine entgegen gesetzte Kraft von gleicher Größe.

In der Literatur findet man häufig die Bezeichnung von **actio = reactio**.

Dieses dritte Gesetz der klassischen Mechanik bedeutet, dass die Kraft, die aufgebracht wird um den eigenen Körper oder einen Gegenstand in Bewegung zu versetzen, eine Gegenkraft erzeugt.



Biomechanische Prinzipien:

HOCHMUTH entwickelte die biomechanischen Prinzipien unter Ausnutzung mechanischer Gesetzmäßigkeiten für sportliche Belastungen und zur sportlichen Leistungsoptimierung (Technikentwicklung, Technikverbesserung).

1. Prinzip der maximalen Anfangskraft
2. Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges
3. Prinzip der Koordination von Teilimpulsen
4. Prinzip der Gegenwirkung
5. Prinzip der Impulserhaltung



Eine Bewegung, mit der eine hohe Endgeschwindigkeit erreicht werden soll, ist durch eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung einzuleiten. Durch das Abbremsen der Gegenbewegung entsteht eine **Anfangskraft**, durch die der Kraftstoß (Impuls) vergrößert wird.

Das biomechanische Prinzip der Anfangskraft spielt vor allem bei Wurf und Sprungbewegungen eine bedeutende Rolle, bei denen eine maximale Endgeschwindigkeit des Körpers oder eines Sportgerätes erreicht werden soll.

Wichtig:

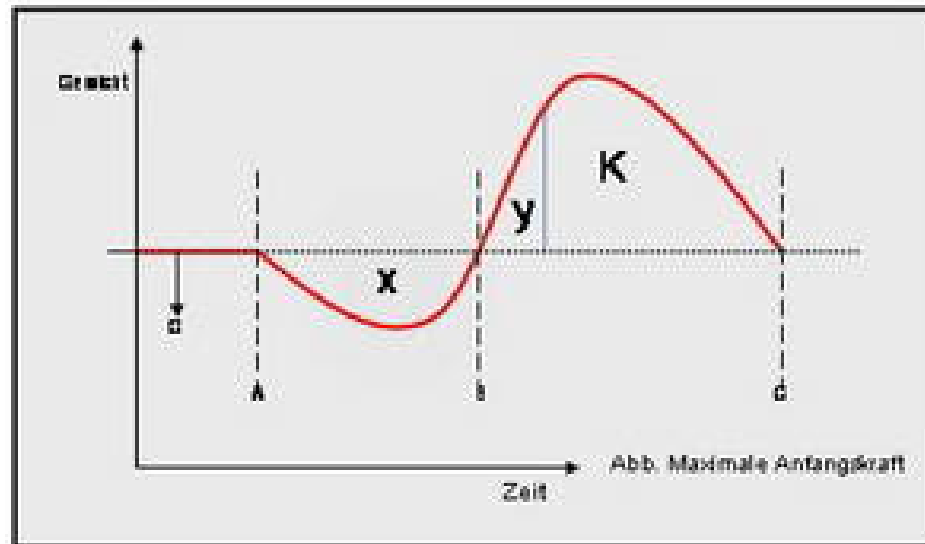
Es geht nicht um die Maximierung des Anfangskraftwertes.

Dieser ist optimal und nicht maximal zu gestalten, da nur dann ein möglichst großer Beschleunigungskraftstoß zu erreichen ist. Eine Maximierung der Anfangskraft wäre nur durch eine sehr tiefe/weite und schnelle Ausholbewegung zu erreichen, in deren Folge aber kein hoher Beschleunigungskraftstoß produziert werden kann.



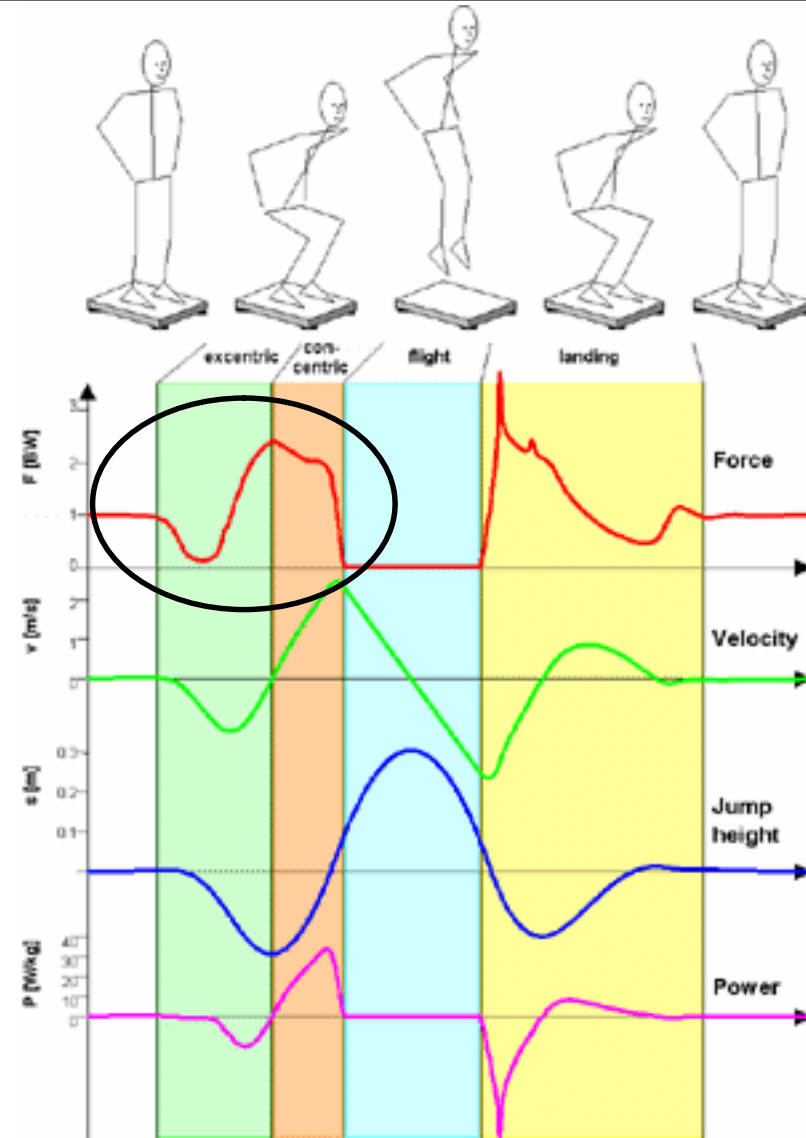
Beispiel:

Ein Sportler wirft mit gestreckten Armen einen Medizinball nach oben.



Anfangs befindet sich der Sportler im ruhigen Stand auf der Messplattform. Die Waage zeigt das Körpergewicht **[G]** an (Das Gewicht des Medballes wird vernachlässigt. Im Zeitpunkt **[A]** geht der Proband in die **Knie**. Die Messplatte zeigt einen niedrigeren Wert an. Die Fläche **[X]** zeigt den negativen Kraftstoß, der dem Bremskraftstoß **[y]** entspricht. Unmittelbar auf diesen Bremskraftstoß erfolgt der Beschleunigungskraftstoß. Die Kraft **[F]** wirkt auf den Medball. Auf der Messplattform ist ein größerer Messwert erkennbar. Für die optimale Kraftentfaltung sollte das Verhältnis von Bremskraftstoß zu Beschleunigungskraftstoß etwa eins zu drei betragen.

1. Prinzip der maximalen Anfangskraft

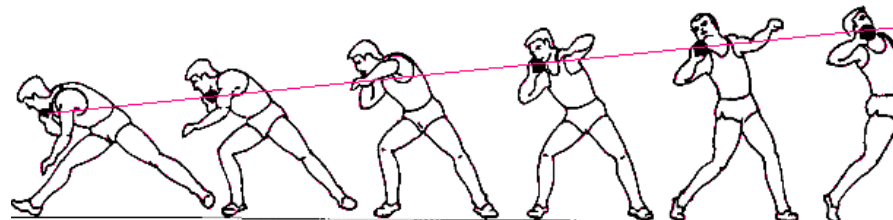




Eine konstante Kraft gibt einer Masse eine umso höhere Endgeschwindigkeit, je länger die Kraft auf die Masse einwirkt.

Das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges kommt bei solchen sportlichen Bewegungen zum Tragen, die hohe Endgeschwindigkeiten erfordern (z. B. Würfe/Stöße in der Leichtathletik).

Der geometrische Verlauf des Beschleunigungsweges sollte **geradlinig** oder **stetig** gekrümmt, nicht aber wellenförmig sein. Dementsprechend kann durch mehrfache Drehbewegungen der Beschleunigungsweg und damit die Endgeschwindigkeit erhöht werden.

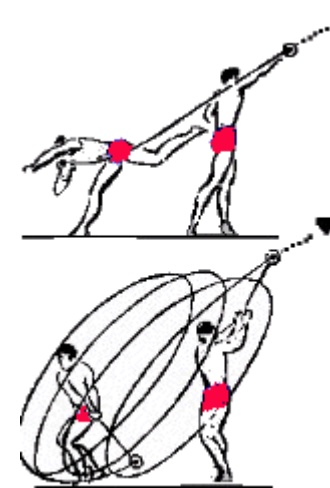




Länge und Richtung des Beschleunigungsverlaufs müssen optimal gestaltet werden. Optimal bedeutet nicht unbedingt maximale Länge des Beschleunigungsweges.

Beispiele:

1. Der Beschleunigungsweg beim Hammerwurf könnte durch zusätzliche Drehbewegungen um ein vielfaches verlängert werden, dies ist jedoch unökonomisch.



2. Ein zu tiefes Hocken beim Streck sprung führt zwar zur Verlängerung des Beschleunigungsweges, bewirkt jedoch ungünstige Hebelverhältnisse und ist somit nicht zweckmäßig.



Ist der Beschleunigungsweg (sportartspezifisch bedingt) zeitlich oder räumlich begrenzt (Start, Sprünge mit Anlauf), gilt das Prinzip nicht.

Als **Ergänzung** zum Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges ist das Prinzip der ***optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf*** formuliert worden:

Bei Sportarten, bei denen es darum geht, schnellstmöglich Kraft zu entwickeln, müssen die größten Beschleunigungskräfte am Anfang der Beschleunigungsphase wirksam werden (z.B. Boxen).

Für Sportarten, bei denen eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit erreicht werden soll (leichtathletische Wurfdisziplinen), liegen die größten Beschleunigungskräfte am Ende der Beschleunigungsphase.



Impuls

Der Impuls beschreibt den Bewegungszustand (fortschreitende Bewegung) eines Körpers (Masse) nach Richtung und Geschwindigkeit.

Zusammenhang: $p = m * v$ (Impuls p = Masse * Geschwindigkeit)

Jeder Sportler, der sich bewegt (auch jedes sich bewegende Sportgerät) besitzt eine Masse und eine Geschwindigkeit, also einen Impuls.

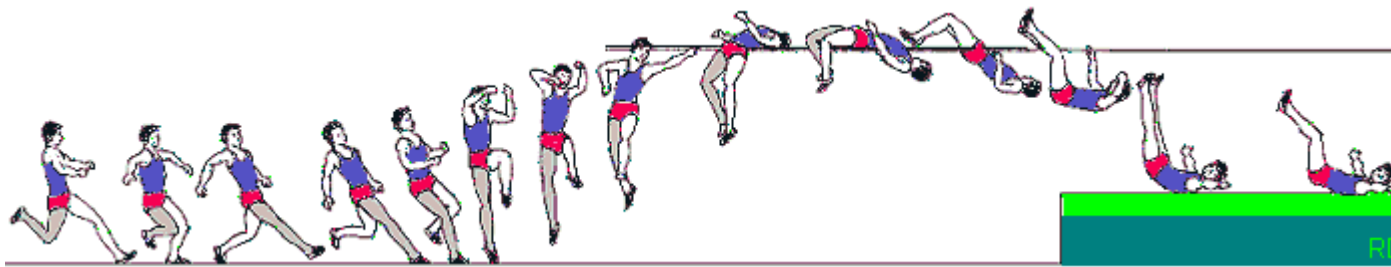
Entsprechend haben auch Teilbewegungen (z.B. Sprungbein, Arme, etc.) (Teil-)Impulse. Dadurch wird der Impuls des Gesamtsystems erzeugt bzw. geändert.

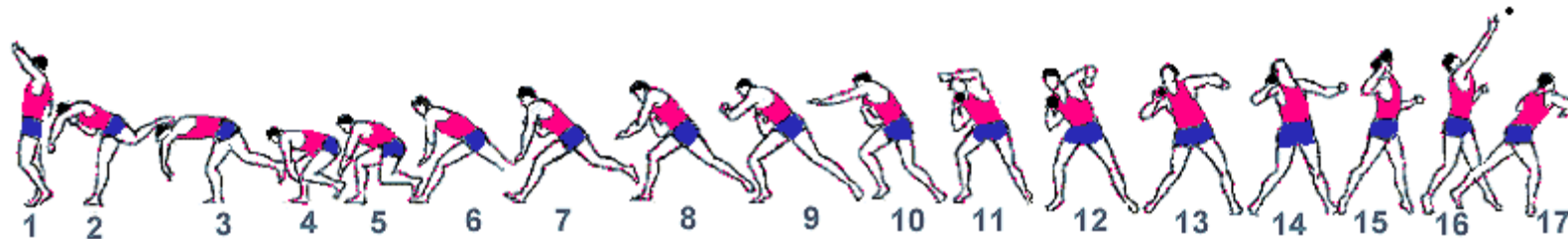


Damit eine effektive Bewegung (hohe Endgeschwindigkeit des Körpers, eines Körperteils oder eines Sportgerätes) erreicht wird, müssen die Teilaktionen der verschiedenen Muskeln gut aufeinander abgestimmt sein.

So beeinflusst z.B. beim Hochsprung nicht nur die Aktion des Sprungbeins die Sprungleistung.

Auch das Schwungbein und die Armbewegung erzeugen Impulse, die für die Gesamtbewegung wichtig sind und die in einem optimalen Verhältnis stehen müssen.





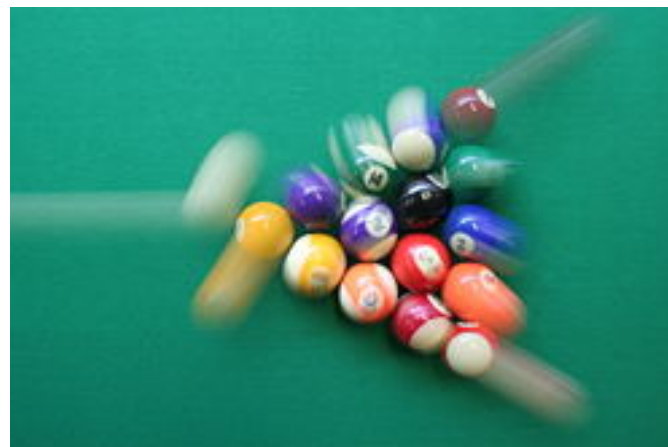
Beim Kugelstoßen wird die Kugel (nacheinander) durch die Streckbewegung der Beine, durch Aufrichten des Rumpfes und die Schwungbewegung des Armes/der Hand in Bewegung gesetzt.



Impulsübertragung

Trifft ein bewegter Körper auf einen anderen Körper (oder wird dieser abgebremst) kommt es zu einer *Impulsübertragung*.

Impulsübertragungen durch Abbremsen eines oder mehrerer Körperteile spielen im Sport eine wichtige Rolle.



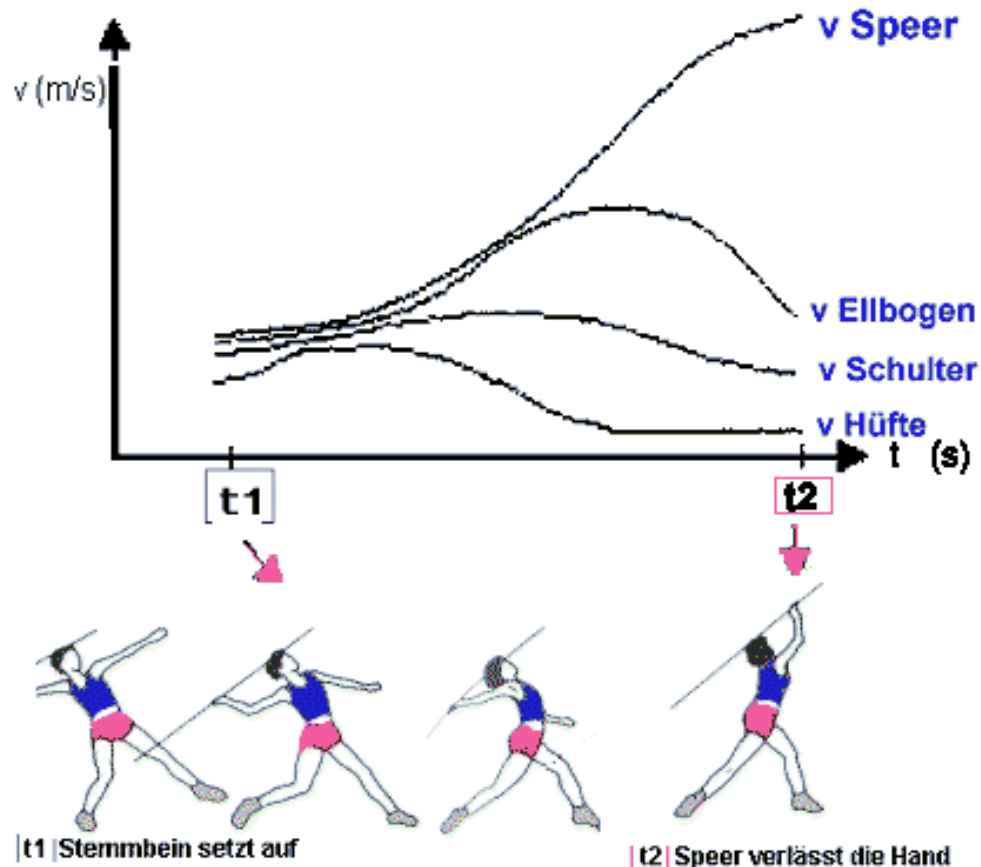


Beispiel Speerwurf:

Mit dem Aufsetzen des Stemmbeins verringert sich der Impuls des Beines und der Hüfte deutlich.

Da der Impuls aber nicht verloren geht, erhält zunächst der Oberkörper einen zusätzlichen Impuls.

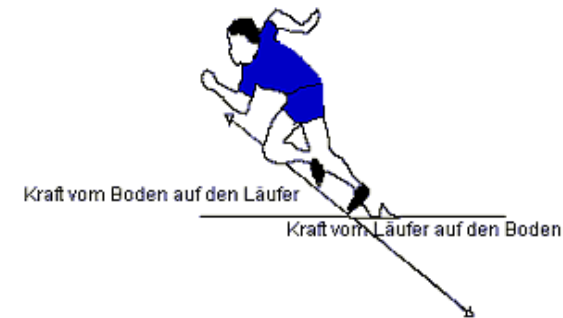
Da auch dieser abgebremst wird, erfolgt die Impulsübertragung auf Arm und Speer.





Grundlage: 3. Newtonsches Gesetz

(Wirkt ein Körper A auf einen Körper B die Kraft F aus, dann übt Körper B auf A eine gleichgroße, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft F aus.)



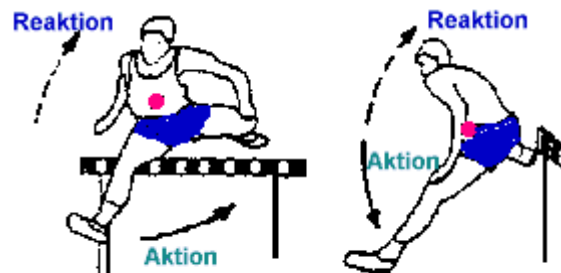
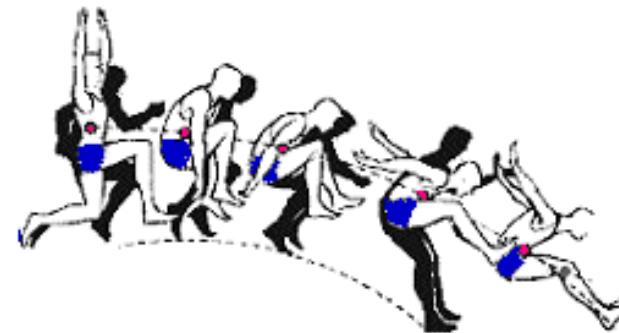
Bei sportlichen Bewegungen liefert in der Regel die mechanische Umwelt die Reaktionskraft zur Muskelkraft des Sportlers.

Finden Aktionen bestimmter Körperteile keine Reaktion in der Umwelt (Flugbewegungen, freier Fall), so sind notwendigerweise Gegenbewegungen anderer Körperteile die Folge.



Beispiel Weitsprung:

Der Springer bringt während der Flugphase die Beine nach vorne.
Nach dem Prinzip der Gegenwirkung wird automatisch der Oberkörper nach vorne gebeugt.
(oder umgekehrt ?)



Beispiel Hürdenlauf:

Das Führen des Schwungbeines zum Boden hat das Aufrichten des Oberkörpers zur Folge.



Anwendung hauptsächlich: Drehbewegungen im Sport

Beeinflussung (Geschwindigkeit) durch:

1. Heranbringen von Körperteilen nahe der Drehachse
2. Abspreizen von Körperteilen weg von der Drehachse

Grundlage: Drehimpulserhaltungssatz

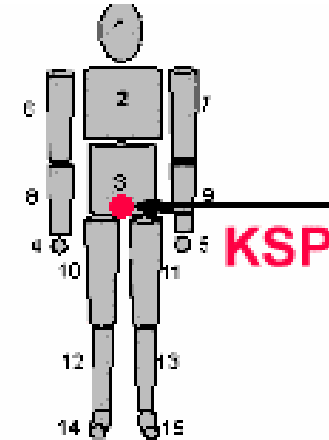
=> Gesamtdrehimpuls in abgeschlossenen Systemen bleibt erhalten
 => Produkt aus Massenträgheitsmoment und Winkelgeschwindigkeit bleibt gleich. Ändert sich das Massenträgheitsmoment verändert sich die Winkelgeschwindigkeit entgegengesetzt proportional.





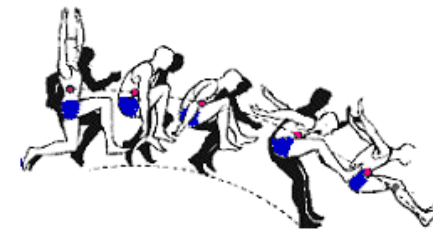
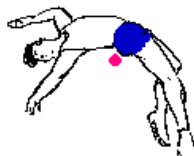
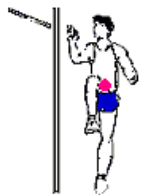
1. Körperschwerpunkt

Der Körperschwerpunkt (KSP) ist ein fiktiver Punkt, in dem die Masse des gesamten Körpers gedacht werden kann (Angriffspunkt der Schwerkraft).



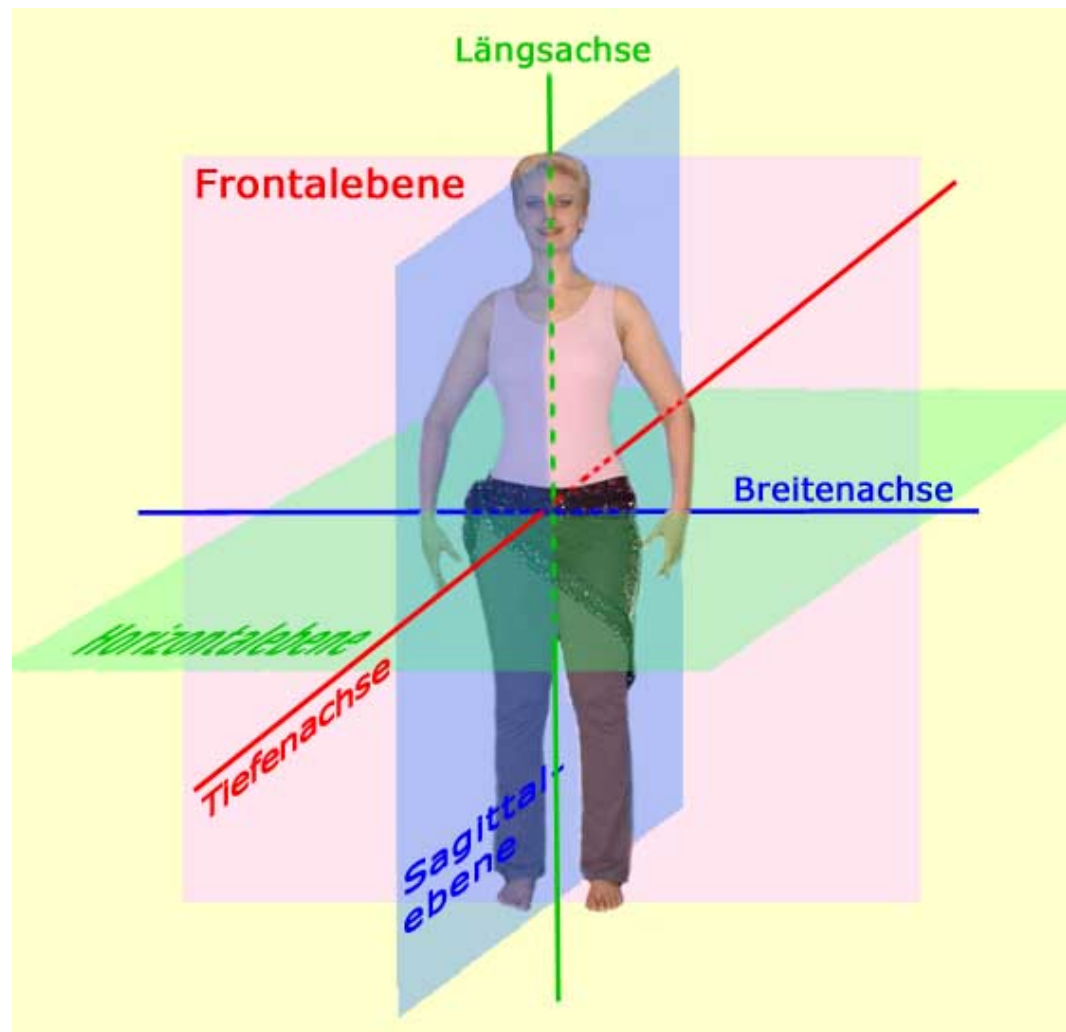
Im KSP halten sich die Schwerkraftmomente aller Masseteile die Waage. Besondere Bedeutung hat der KSP deshalb, weil er als Angriffspunkt für die Schwerkraft bei jeder Bewegung wichtig ist (Angriffspunkt aller äußeren Kräfte).

Im Gegensatz zu starren Körpern gibt es jedoch beim Menschen keinen festen KSP, sondern er ist abhängig von der Körperposition und der Masseverteilung im Körper.





2. Achsen und Ebenen des menschlichen Körpers





TRANSLATION		ROTATION		
Länge (Weg)	s	Erfasst den Weg zwischen zwei Punkten.	Drehwinkel \curvearrowright	Beschreibt die Größe der Winkelveränderung.
Zeit	t	Erfasst den zeitlichen Abstand zwischen zwei Ereignissen.		
Masse	m	Beschreibt die <i>Trägheit</i> und die <i>Schwere</i> eines Körpers	Trägheitsmoment $J=J_i \cdot r_i$	Beschreibt die Trägheit bezüglich der Änderung einer Drehbewegung.
Geschwindigkeit	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Beschreibt die <i>Schnelligkeit</i> einer geradlinigen Bewegung.	Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{\Delta \rho}{\Delta t}$	Beschreibt die <i>Schnelligkeit</i> einer Drehbewegung.
Beschleunigung	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Beschreibt die Änderung der Geschwindigkeit in der Zeit.	Winkelbeschleunigung $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	Beschreibt die Änderung der Winkelgeschwindigkeit in der Zeit.
Kraft	$F=m \cdot a ; F=D \cdot s$	Beschreibt die Ursache einer Beschleunigung oder einer Verformung eines Körpers.	Drehmoment $M=F \cdot r$	Beschreibt die Ursache einer Winkelbeschleunigung.
Impuls	$p=m \cdot v$	Beschreibt den Bewegungszustand eines Körpers.	Drehimpuls $L=J \cdot \omega$	Beschreibt den <i>Drehzustand</i> eines Körpers.
Arbeit	$W=F_s \cdot s$	Beschreibt den <i>Aufwand</i> um einen Körper zu beschleunigen oder zu verformen.		
Energie	$E=F_s \cdot s$	Beschreibt die <i>Fähigkeit</i> bzw. die <i>Möglichkeit</i> Arbeit zu verrichten.		
Kinetische Energie	$E = \frac{m}{2} v^2$	Beschreibt die Energie, die in einem bewegten Körper steckt.	Rotationsenergie $E = \frac{J}{2} \omega^2$	Beschreibt die Bewegungsenergie die in einem rotierenden Körper gespeichert ist.
Lageenergie	$E=G \cdot h$	Beschreibt die Energie die ein angehobener Körper gegenüber einem tieferen Niveau besitzt.		