

Biomechanische Betrachtungsweise von Bewegungen

Biomechanik des Sports:

... die Wissenschaft von der mechanischen **Beschreibung und Erklärung der Erscheinungen und Ursachen** von Bewegungen im Sport unter Zugrundelegung der Bedingungen des Organismus.

(nach Willimczik 1999)

Methodischer Ansatz:

... **Zerlegung von beobachtbaren Bewegungen** in einzelne **quantitative Merkmale**, zu deren Erfassung **kinematographische** und **dynamographische** Messverfahren eingesetzt werden (= empirisch-analytische Denkweise)

(Roth/Willimczik 1999)

<p><u>Innere Biomechanik</u> Funktions- und Steuerungsprozesse von Bewegungen → neurophysiologischer Ansatz → <u>Innenaspekt</u></p>	<p><u>Äußere Biomechanik</u> Erscheinungen und Ursachen von Bewegungen nach den Gesetzen der Mechanik → mechanischer Ansatz → Außenaspekt</p>
--	---



Kernstück der Biomechanik im Sport

Erscheinungen und Ursachen von Bewegungen nach den Gesetzen der Mechanik beschreiben.

- Leistungsbiomechanik:** Technikanalyse und Techniko Optimierung
Beispiel: Erklärung der Sprungweite beim Weitspringen
- Anthropometrische Biomechanik:** Eignungsdiagnose und Leistungsprognose
Beispiel: Körperbaumerkmale
- Präventive Biomechanik:** Belastungsanalyse und Belastungsgestaltung
Beispiel: Hebetechniken

Man unterscheidet Kinematik und Dynamik:

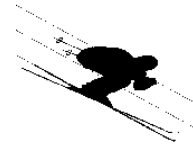
KINEMATIK	DYNAMIK
<p>Erscheinungen von Bewegungen raum-zeitliche Charakterisierung von Bewegungen ... also Ortsveränderungen von Körpern bzw. Körperpunkten in der Zeit, wobei Körpermasse und angreifende bzw. zugrunde liegende Kräfte unberücksichtigt bleiben Es werden kinematische Größen (z. B. Weg in m, Zeit in sec, Geschwindigkeit in m/s, Winkel in Grad (°), Winkelgeschwindigkeit in °/sec) festgehalten</p>	<p>Ursachen von Bewegungen Untersuchung der Kräfte, die der Bewegung zugrunde liegen Statik = Gleichgewicht der Kräfte Kinetik = Beschleunigung der Kräfte ... erklärt die wirklichen Bewegungen eines Körpers unter Berücksichtigung der Körpermasse und der Wirkung von Kräften. Es werden dynamische Größen (z. B. Masse in kg, Kraft in N, Drehmoment in Nm) bei translatorischen und rotatorischen Bewegungen festgehalten.</p>

Kinematik

1. Räumliche Charakteristik

Translation = fortschreitende Bewegung

... fortschreitende Bewegung aller Punkte eines Körpers um dieselbe Streckenlänge auf geraden oder gekrümmten Bahnen



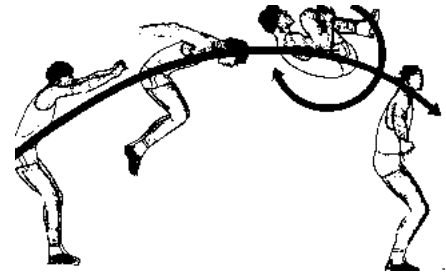
Rotation = drehende Bewegung

... um eine Drehachse bzw. einen Drehpunkt, wobei der Drehpunkt auch außerhalb des Körpers (z. B. Riesenfelge am Reck) liegen kann.



Translation und Rotation

... bei den meisten Bewegungen kommen Translationen und Rotationen gleichzeitig vor bzw. überlagern sich



2. Zeitliche Charakteristik

a) gleichförmig ($v = \text{konstant}$, $a = \text{null}$)

b) ungleichförmig ($v = \text{variabel}$):

- **gleichmäßig beschleunigte Bewegung** ($a = \text{konstant}$)
- **ungleichmäßig beschleunigte Bewegung** ($a = \text{variabel}$)

Biomechanische Prinzipien

Zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit sportlicher Techniken sind Kriterien erforderlich, die anhand des zeitlichen Verlaufs mechanischer Parameter eine entsprechende Bewertung des Bewegungsablaufs erlauben.

Im deutschen Sprachraum besonders bekannt sind die als biomechanische Prinzipien von Hochmuth (1969, 1981) eingeführten Kriterien.

... allgemeine Aussagen über die Zweckmäßigkeit sportlicher Bewegungen

Sie enthalten „die allgemeinsten Erkenntnisse über das rationale Ausnutzen der mechanischen Gesetze bei sportlichen Bewegungen. Sie stellen gewissermaßen die auf die Bewegungen des Menschen angewandten mechanischen Gesetze unter einer bestimmten Zielsetzung dar“

(Hochmuth, 1967, S. 187)

Bei sportlichen Bewegungen gelten mechanische Gesetze unter Berücksichtigung biologischer Besonderheiten des menschlichen Körpers.

Physikalische Begriffe wie Kraft, Masse, Trägheit, Geschwindigkeit etc. sind bei der Beschreibung auch sportlicher Bewegung erforderlich.

Biologische Grundlagen sind durch die Struktur und Funktion des passiven Bewegungsapparates vorgegeben:

- Abmessungen und Eigenschaften von Knochen, Sehnen, Bändern
- Freiheitsgrade der Bewegung in den Gelenken
- mechanische Eigenschaften der Muskeln in den verschiedenen Arbeitszuständen

Heftige Diskussion um den Geltungsbereich biomechanischer Prinzipien.

Kritische Anmerkungen:

Die Prinzipien basieren ausdrücklich auf **mechanischen Überlegungen**, schließen dabei in ihre Aussagen die mechanische Erscheinung der biologisch bedingten Sachverhalte, die sich in den Bewegungsabläufen widerspiegeln, mit ein, **ohne jedoch die biologische Begründung** dafür angeben zu können".

Die **Allgemeingültigkeit** sämtlicher Prinzipien wird **durch sportart-spezifische Bedingungen eingeschränkt**, was dem Charakter eines Prinzips widerspricht. Mit diesen Prinzipien - soweit es sich nicht um mechanische Gesetze handelt - konkurrierende Kriterien schränken die Anwendbarkeit dieser Art von Prinzipien weiter ein.

Empfehlung:

„Die dargestellten Prinzipien sind bei kritischer Anwendung **hilfreiche Leitlinien** bei der **Beurteilung sportlicher Techniken**.

Prinzipien im strengen Sinne allgemeingültiger Grundsätze sind es nicht. Die biologischen Charakteristiken fehlen vollständig.“

(Baumann, in: Willimczik 1989, S.98)

Optimale Bewegungsabläufe müssen physikalischen/ mechanische Gesetze berücksichtigen.

Aber es ist nicht möglich, aus einem physikalischen Gesetz unmittelbar einen optimalen Bewegungsablauf zu konstruieren, da der Körper und die Sportart bzw. Bewegung **spezifische Voraussetzungen** haben.

Deshalb sollte man von biomechanischen Prinzipien als **Leitlinien** sprechen (Gesetze wie in der Physik sind es ohnehin nicht).

Man unterscheidet 6 Biomechanische Prinzipien:

- (1) Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges
- (2) Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf
- (3) Prinzip der Anfangskraft
- (4) Prinzip der zeitlichen Koordination von Teilimpulsen
- (5) Prinzip der Gegenwirkung
- (6) Prinzip der Impulserhaltung

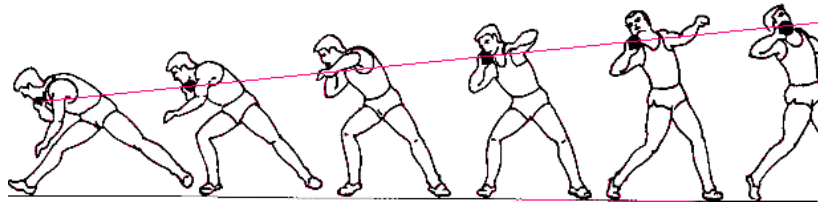
Prinzip 1**Prinzip des optimalen Beschleunigungswegs**

Soll im Laufe einer sportmotorischen Fertigkeit der Körper des Sportlers oder eines Sportgerätes auf eine **hohe Endgeschwindigkeit** gebracht werden, muss der **Beschleunigungsweg eine optimale Länge** haben und **geradlinig oder stetig gekrümmt** sein.

Bei Körperbewegungen, mit denen eine möglichst **hohe Endgeschwindigkeit** erreicht werden soll, ist ein **optimal langer Beschleunigungsweg** auszunutzen.

Dabei soll der **geometrische Verlauf** des Beschleunigungsweges **gradlinig oder stetig gekrümmt** sein.

Das Prinzip des optimalen Beschleunigungswegs kommt bei solchen sportlichen Bewegungen zum Tragen, die hohe Endgeschwindigkeiten erfordern (z. B. Würfe/Stöße in der Leichtathletik). Länge und Richtung des Beschleunigungsverlaufs müssen optimal gestaltet werden, wobei optimal nicht unbedingt maximale Länge des Beschleunigungsweges bedeutet.

1. Beispiel:**Kugelstoßen****2. Beispiel:****Sprungbewegung**

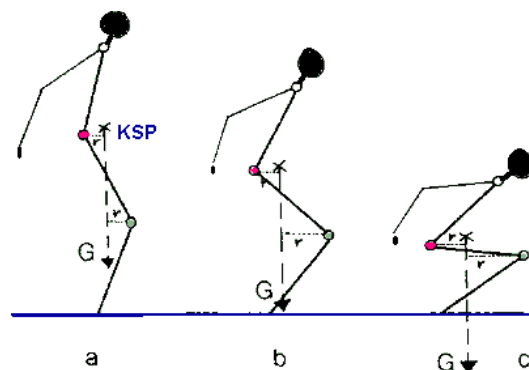
Bei der Gestaltung der räumlichen Länge der Ausholbewegung konkurrieren zwei Bedingungen, eine physikalische und eine biologische:

Physikalische Bedingung: Ausholbewegung möglichst groß gestalten, damit ein möglichst großer (maximaler) Beschleunigungsweg zur Verfügung steht.

Biologische Bedingung: Ausholbewegung nicht zu tief, denn Hebel- und Kraftverhältnisse und Freiheitsgrade sind zu berücksichtigen

Schwerkraftmomente bzgl. Hüft- und Kniegelenk in verschiedenen Beinbeugestellungen;

G: Gewicht
KSP(X): Körperschwerpunkt
r: Kraftarm des Gewichts

**Prinzip 2****Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf**

Die größten Beschleunigungskräfte sollen am **Anfang der Beschleunigungsphase** wirksam werden, wenn es darum geht, **schnellstmöglich hohe Kräfte** zu entwickeln (Bsp. Boxen).

Sollen **hohe Endgeschwindigkeiten** erreicht werden, liegen die größten Beschleunigungen am **Ende des Beschleunigungsweges** (Beispiel leichtathletische Wurfdisziplinen).

Prinzip 3**Prinzip der maximalen Anfangskraft**

Eine Körperbewegung, mit der ein großer Kraftstoß erreicht werden soll, ist **durch eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung einzuleiten**.

Durch das Abbremsen der Gegenbewegung ist zu **Beginn der Zielbewegung** bereits eine **positive Kraft (Anfangskraft)** für die Beschleunigung vorhanden. Dieses vergrößert den Kraftstoß, wenn Brems- und Beschleunigungskraftstoß dabei in einem **optimalen Verhältnis** stehen.

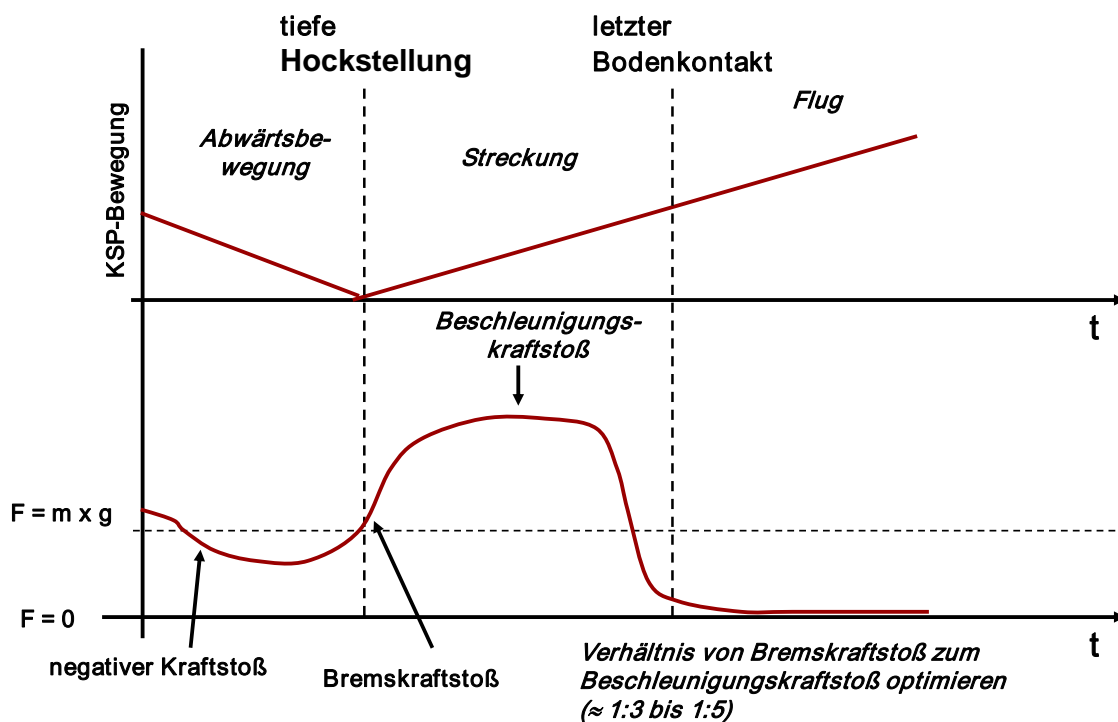
Ausholbewegungen müssen abgebremst werden. Dieser Vorgang heißt **Amortisation**. Abwärtsbeschleunigungen müssen amortisiert werden.

Von optimaler Amortisation spricht man, wenn Bremskraftstoß und Beschleunigungskraftstoß das **Verhältnis 1:3** nicht überschreiten.

Dieses Verhältnis ist für Vertikalsprünge aus Untersuchungsergebnissen gewonnen.

Bremskraftstoß : Beschleunigungskraftstoß = 1:3 = 0,33

Beispiel: Kraft-Zeit-Kurve eines optimalen Vertikalsprungs



Bei Beuge- und Streckbewegungen ist mit direkter **Bewegungsumkehr** zu Beginn der Streckbewegung eine **positive Anfangskraft** vorhanden.

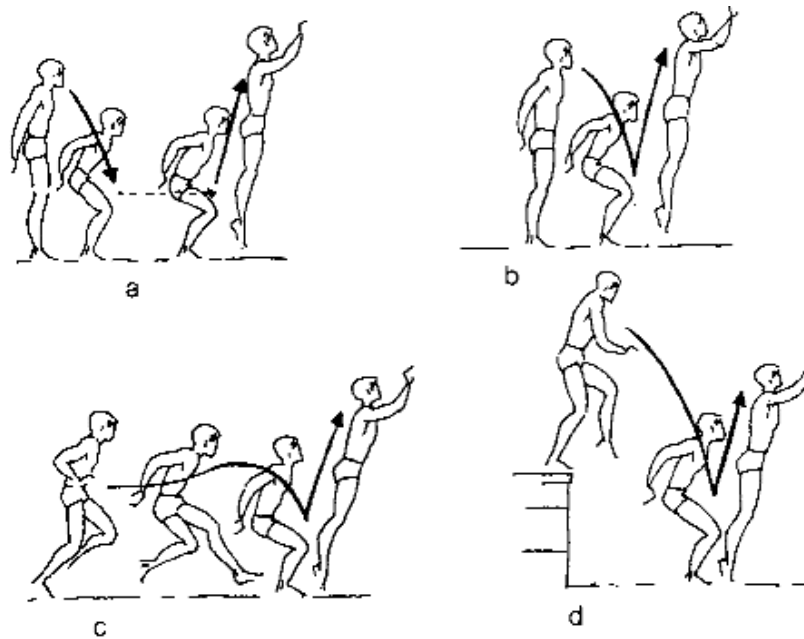
Ist die Ausholbewegung und der die Ausholbewegung abfangende Bremskraftstoß zu groß, wird für das Abbremsen der Ausholbewegung zuviel von der zur Verfügung stehenden Kraft verbraucht, die dem Beschleunigungskraftstoß nicht mehr zur Verfügung stehen kann.

Bremskraftstoß und Beschleunigungskraftstoß dürfen ein **optimales Verhältnis** nicht überschreiten.

Beispiel: Kraft-Zeit-Verlauf bei verschiedenen Sprungarten

Verschiedene Sprungarten und deren zeitliche und dynamische Abstimmung von Ausholbewegung und Beschleunigungsbewegung

- Der Springer senkt aus dem Stand in die Ausholstellung, verharrt dort 3 Sekunden und springt dann - ohne nochmalige Ausholbewegung - nach oben ab (Squat-Jump)
- Der Springer lässt die Ausholbewegung und den Sprung fließend ineinander übergehen (Counter-Movement-Jump)
- Der Springer führt vor dem Hochsprung zwei bis drei einleitende Laufschrte aus und lässt sie fließend in den beidbeinigen Absprung übergehen (Drop-Jump)
- Der Springer steht auf einem dreiteiligen Sprungkasten, springt von dort herunter und lässt den Niedersprung fließend in den Anschlagssprung übergehen (Drop-Jump als Niedersprung)



Prinzip 4

Prinzip der zeitlichen Koordination von Teilimpulsen

Bei sportlichen Sprüngen vergrößern die Schwungbewegungen den Absprung-Kraftstoß, indem ihre **reaktive Wirkung** die Zeitdauer des Kraftstoßes der Beinstreckung verlängert

Das Ziel heißt: **Schwungübertragung**:

Durch **plötzlich abgebremste Ausholbewegungen** wird Energie nicht vernichtet, sondern in einer **Gliederkette** weitergeleitet.

Bei vielen sportlichen Bewegungen ist es möglich, den Gesamtimpuls durch das **Hintereinanderschalten mehrerer Einzelimpulse** zu erhöhen.

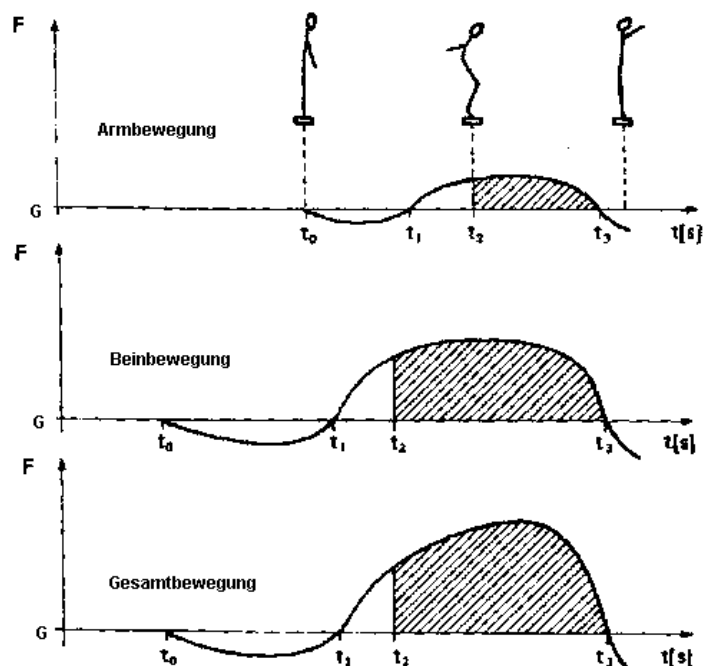
Wesentlich ist dabei, dass **der Impuls durch Abbremsung von einem Körperteil auf ein anderes übertragen** werden kann.

Dabei sollen die Beschleunigungsmaxima der Körperteile zeitlich nacheinander auftreten.

1. Beispiel: Sprungbewegung (Jump and Reach)

Durch die Streckbewegung der Beine und die Schwungbewegung der Arme werden beide Impulse für die Aufwärtsbewegung genutzt.

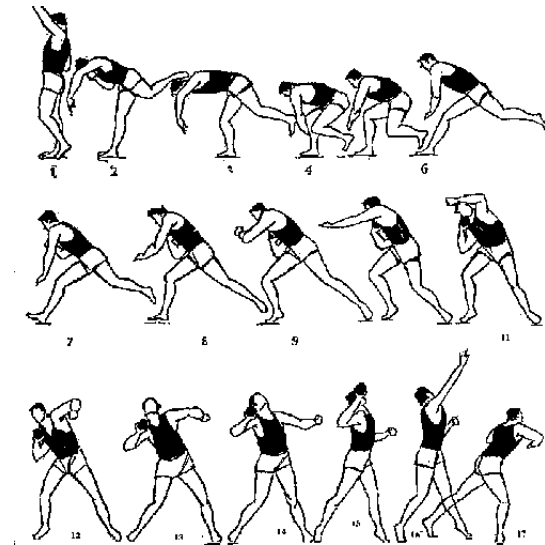
(allerdings keine einfache Addition beider Kraftwirkungen, da noch Reaktionskräfte eine Rolle spielen)



2. Beispiel: Kugelstoßen**Ein weiteres Beispiel (hohe Geschwindigkeit eines Körperteils):**

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.

„Nacheinander der Teilkräfte“

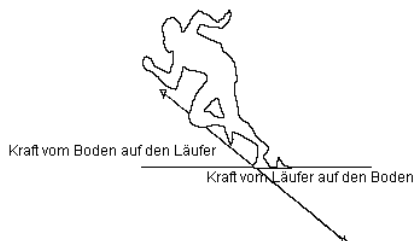
**Prinzip 5****Prinzip der Gegenwirkung (und des Drehrückstoßes)**

Das Prinzip der Gegenwirkung besagt, dass bei Bewegung im freien Fall oder Flug die Bewegung **einzelner Körperteile** notwendigerweise die **Gegenbewegung anderer Körperteile** zur Folge hat. Dieses beruht auf dem dritten Newtonschen Gesetz („**actio et reactio**“).

Der Gegenwirkungssatz (3. Newtonsches Gesetz) besagt:

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.

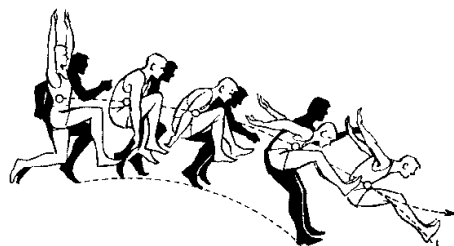
Bei sportlichen Bewegungen liefert in der Regel die mechanische Umwelt die Reaktionskraft zur Muskelkraft des Sportlers.



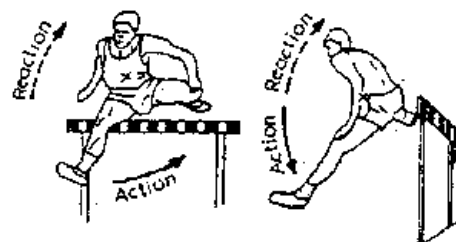
Finden Aktionen bestimmter Körperteile **keine Reaktion in der Umwelt** (Flugbewegungen, freier Fall), so sind notwendigerweise Gegenbewegungen anderer Körperteile die Folge.

1. Beispiel: Weitsprung

Der Springer bringt während der Flugphase die Beine nach vorne. Nach dem Prinzip der Gegenwirkung wird automatisch der Oberkörper nach vorne gebeugt.

**2. Beispiel: Hürdenlauf**

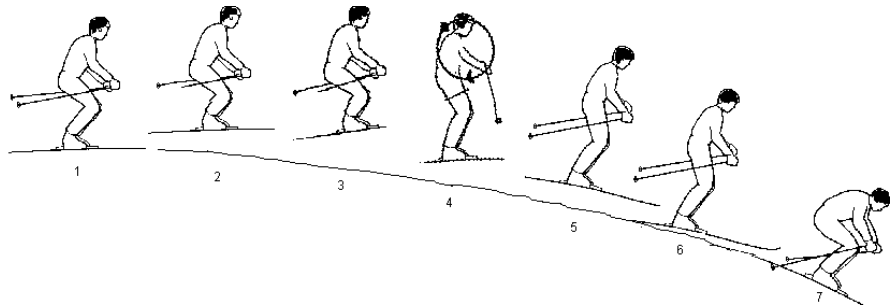
Der Läufer bringt während der Flugphase das Schwungbein nach unten. Nach dem Prinzip der Gegenwirkung wird automatisch der Oberkörper nach oben gestreckt.



3. Beispiel: Skillauf

Wie verhindert der Skiläufer bei der starken Rücklage in Bild 3 einen Sturz?

Er macht weiträumige und **schnelle Kreisbewegungen rückwärts** mit den Armen (actio = reactio)



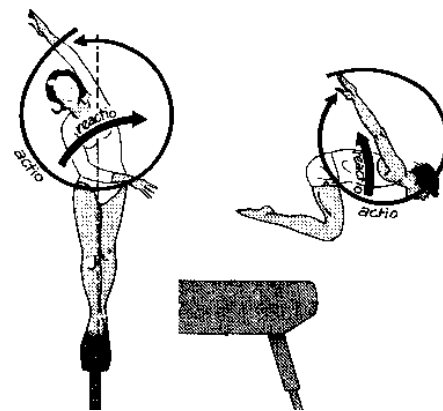
Der Drehimpuls der Arme muss gleich groß sein wie der Drehimpuls des Rumpfes (actio = reactio), diesem aber entgegengerichtet sein. Da das **Trägheitsmoment** des korrigierenden Körperteils (hier also der Arme) im Vergleich zum Trägheitsmoment des zu korrigierenden Körperteils (Rumpf) relativ klein ist, muss für eine geringfügige Korrektur der Körperhaltung verhältnismäßig schnelles und weiträumiges Armkreisen erfolgen.

4. Beispiel: Schwebelbalkenturnen und Pferdsprung**Beispiel Schwebelbalken:**

Hat eine Turnerin auf dem Balken **zu viel Seitlage nach rechts**, so kann sie mit den **Armen nach rechts kreisen** und damit eine korrekte Standposition erreichen.

Beispiel Pferdsprung:

Hat ein Springer in der **zweiten Flugphase zu viel Vorlage**, so kann er durch **Armkreisen vorwärts** eine korrekte Landung erreichen.

**Prinzip 6****Prinzip der Impulserhaltung**

Das Prinzip der Impulserhaltung beruht auf dem **Drehimpulserhaltungssatz**. Danach bleibt der Drehimpuls einer Bewegung konstant, wenn keine äußeren Kräfte wirken.

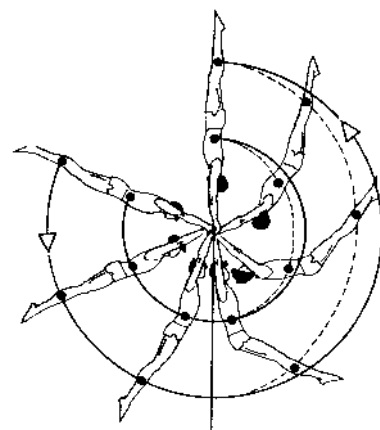
Diese Gesetzmäßigkeit erlaubt einem Sportler die aktive **Kontrolle** seiner **Drehgeschwindigkeit**.

Beispiel: Dreh- und Pendelbewegungen

Durch Annäherung der Extremitäten an eine Drehachse können Drehbewegungen ohne Veränderung des Krafteinsatzes beschleunigt werden.

Vergößerung der Winkelgeschwindigkeit durch Verkleinerung des Trägheitsmoments (infolge der Annäherung der Masseteile an die Drehachse).

Bei der Riesenfelge ist die Reckstange die Drehachse.

**Literaturempfehlungen:**

Loosch, E. (1999). *Allgemeine Bewegungslehre*. Wiebelsheim: Limpert.

Olivier, N. & Rockmann, U. (2003). *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und -lehre*. Schorndorf: Hofmann.

Roth, K. & Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

Wollny, R. (2007). *Bewegungswissenschaft – Ein Lehrbuch in 12 Lektionen (Lektion 12)*. Aachen: Meyer & Meyer.