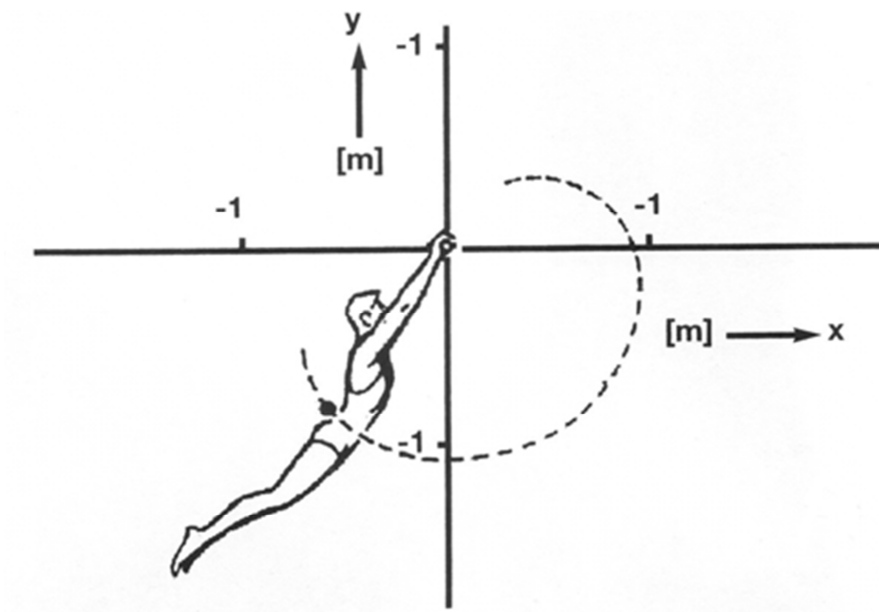


# Bewegungslehre / Biomechanik

Lehrbehelf zur Lehrveranstaltung:

Grundlagen einer allgemeinen Bewegungslehre  
und schulorientierten Biomechanik



Kirchliche Pädagogische Hochschule Wien/Krems  
Campus Krems-Mitterau

2013

# Inhalt

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG IN DIE BEWEGUNGSLEHRE UND BIOMECHANIK .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ASPEKTE DES MOTORISCHEN LERNENS .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Antriebsregulation und Motive:.....</b>	<b>8</b>
2.1.1	Orientierungsregulative Voraussetzungen: .....	8
2.1.2	Antriebsregulative Voraussetzungen:.....	8
2.1.3	Ausführungsregulative Voraussetzungen: .....	8
2.1.4	Regulationsebenen im Bereich Antrieb/ Motivation .....	9
2.1.5	Antriebsregulation .....	9
2.1.6	Formen der Motive: .....	9
<b>2.2</b>	<b>Instruktionsarten und Lernstoffdarbietung: .....</b>	<b>10</b>
2.2.1	Lernen und Rückinformation:.....	10
2.2.2	Lernen als Strukturänderung .....	11
2.2.3	Induktion – Deduktion (vgl. Vorlesung 1. Semester).....	11
2.2.4	Teil- und Ganzlernmethode.....	11
2.2.5	Unbewusstes vs. bewusstes Lernen .....	12
2.2.6	Merksätze zum motorischen Lernen.....	12
<b>3</b>	<b>BEWEGUNGSMERKMALE.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Gründe für die Analyse sportlicher Bewegungen: .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Einteilungskriterien von Bewegungen:.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Qualitative und Quantitative Bewegungsmerkmale .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>BIOMECHANISCHE PRINZIPIEN .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3</b>	<b>Prinzip der Impulserhaltung / Drehimpulserhaltung:.....</b>	<b>20</b>
<b>4.4</b>	<b>Prinzip der Gegenwirkung: .....</b>	<b>21</b>
<b>4.5</b>	<b>Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen:.....</b>	<b>22</b>
<b>4.6</b>	<b>Prinzip der optimalen Anfangskraft.....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>BEWEGUNGSPHASEN .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Kurt Meinel, Günther Schnabel.....</b>	<b>25</b>
5.1.1	Klassische Phasengliederung.....	25
5.1.2	Vorbereitungsphase .....	26
5.1.3	Die Hauptphase .....	27

5.1.4	Die Endphase .....	28
5.1.5	Gesamtbewegung.....	29
5.1.6	Zyklische Bewegungen .....	29
5.1.7	Azyklische Bewegungen.....	30
5.1.8	Weitere Untergliederung der Phasen .....	30
<b>5.2</b>	<b>Göhner .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>MECHANISCHE GRUNDLAGEN UND GESETZE VON BEWEGUNGEN DES MENSCHEN .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Kinematische Grundlagen .....</b>	<b>32</b>
6.1.1	Bezugssysteme .....	32
6.1.2	Bewegungsformen.....	34
6.1.3	Bewegungsarten .....	35
6.1.4	Kinematische Gesetze bei Translation und Rotation .....	36
6.1.5	Kinematische Gesetze für Fall- und Wurfbewegungen .....	37
<b>7</b>	<b>DIE BEWEGUNGSGESETZE VON NEWTON .....</b>	<b>39</b>
<b>7.1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>39</b>
7.1.1	Das Trägheitsgesetz .....	39
7.1.2	Das Beschleunigungsgesetz.....	41
7.1.3	Das Gegenwirkungsgesetz .....	43
<b>7.2</b>	<b><i>Hilfsbegriffe der Mechanik</i> .....</b>	<b>45</b>
7.2.1	Arbeit.....	45
7.2.2	Leistung .....	47
7.2.3	Energie .....	48
<b>7.3</b>	<b>Energieerhaltungssatz.....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>GRUNDLAGEN DER DYNAMIK .....</b>	<b>51</b>
<b>8.1</b>	<b>Kräfte als Ursache von Bewegungen .....</b>	<b>51</b>
8.1.1	Beschleunigende Kraftwirkung .....	51
8.1.2	Verformende Kraftwirkung.....	51
<b>8.2</b>	<b>Kräfte und ihre Wirkungen.....</b>	<b>51</b>
8.2.1	Arten von Bewegungsänderungen.....	51
8.2.2	Arten der Kräfte .....	52
8.2.2.1	Die äußeren Kräfte .....	52
8.2.2.2	Die inneren Kräfte .....	54
<b>8.3</b>	<b>Gesetze bei Drehbewegungen .....</b>	<b>55</b>
8.3.1	Einteilung von Drehbewegungen .....	55
8.3.2	Entstehung von Drehbewegungen.....	56
8.3.3	Drehwiderstand oder Massenträgheitsmoment .....	56
8.3.3.1	Drehimpuls $L$ .....	57
8.3.3.2	Drehimpulserhaltungssatz .....	57

8.3.3.3	Rotationsenergie .....	57
<b>9</b>	<b>FORMELN FÜR TRANSLATION UND ROTATION .....</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>SENSOMOTORIK .....</b>	<b>59</b>
<b>10.1</b>	<b>Die menschliche Bewegung als Bewegungshandlung .....</b>	<b>59</b>
<b>10.2</b>	<b>Wie werden Sportbewegungen koordiniert ? .....</b>	<b>59</b>
<b>10.3</b>	<b>Analysatoren .....</b>	<b>60</b>
	Analysatoren sind für die Wahrnehmungsprozesse zuständig. Hiermit sind aber nicht nur die Sinnesorgane gemeint, sondern die gesamte Funktionseinheit zur Aufnahme, Weiterleitung und Verarbeitung eines Sinnesreizes.....	60
10.3.1	Der optische Analysator.....	60
10.3.2	Der kinästhetische Analysator .....	61
10.3.3	Der statico-dynamische Analysator (Vestibularanalysator) .....	61
10.3.4	Der akustische Analysator.....	61
10.3.5	Der taktile Analysator .....	61
<b>10.4</b>	<b>Unser Gedächtnis.....</b>	<b>62</b>
10.4.1	Sensorisches/ikonisches Gedächtnis .....	62
10.4.2	Kurzzeitgedächtnis/primäres Gedächtnis .....	62
10.4.3	Langzeitgedächtnis/sekundäres Gedächtnis.....	62
<b>10.5</b>	<b>Spinalmotorische Reflexe.....</b>	<b>63</b>
<b>10.6</b>	<b>Modell der Bewegungskoordination .....</b>	<b>64</b>
10.6.1	Afferenzen.....	65
10.6.2	Afferenzsynthese .....	65
10.6.3	Efferenzen.....	65
10.6.4	Reafferenzen .....	65
<b>10.7</b>	<b>Nervensystem und Bewegungsteuerung.....</b>	<b>65</b>
<b>10.8</b>	<b>Modell: Ablauf der Bewegungssteuerung .....</b>	<b>67</b>
<b>10.9</b>	<b>Das Kleinhirn - Fertigkeitsspeicher für Sportbewegungen.....</b>	<b>68</b>

# 1 EINFÜHRUNG IN DIE BEWEGUNGSLEHRE UND BIOMECHANIK

## Begriffsklärung:

Biomechanik ist Teil der Sportwissenschaft.

<b>Bio</b>	+	<b>Mechanik</b>
<u>Biologische Grundlagen:</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Anatomie</li><li>• Biologie/ Biochemie (Zellen)</li><li>• Physiologie</li><li>• Psychologie</li></ul>		<u>Mechanische Grundlagen:</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Physik (Teilbereich Mechanik)</li><li>• Mathematik (Differential- und Integralrechnung)</li></ul>
<p>Biomechanik liefert:</p> <p>Grundlagen für <b>Trainingslehre</b> und <b>Sportmethodik</b>.</p>		

## Aufgaben der Biomechanik im Sport

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

## Wozu benötigt ein Sportlehrer Kenntnisse der Bewegungslehre/ Sportmotorik?

### Sportlehrer soll können:

- Bewegungen beschreiben, analysieren und bewerten
- Bewegungsanweisungen geben und korrigieren
- den motorischen Lernprozess gestalten
- motorische Altersbesonderheiten kennen und berücksichtigen
- motorische Fähigkeiten vervollständigen und diagnostizieren

## **Menschliche Bewegungen können aus verschiedenen Sichten betrachtet werden:**

### Mit Sicht auf die :

- beteiligten Gliedmaßen, Muskeln, Bänder und Sehnen
- Stoffwechsel und Herzkreislaufprozesse
- beteiligten motivationalen und emotionalen Vorgänge
- ihr Zustandekommen und ihre Entwicklung mechanischen, kinematischen (Ortsveränderung von Körpern, raum-zeitliche Struktur einer Bewegung) und dynamischen Aspekte
- Leistung und deren Beeinflussung durch Training
- spezielle sportartenspezifische Leistungen und deren Beeinflussung durch Training

## **Gegenstandsbereiche der Sportmotorik/Bewegungslehre (Hirtz/Roth/Hotz 1992)**

- Innere Steuerungs- und Funktionsprozesse
  - Motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten
  - Motorisches Lernen
  - Motorische Entwicklung
  - Motorische Diagnostik (sportmotorische Tests)
  - Qualitative Beschreibung
  - Bewegungsästhetik
  - Rehabilitative Psychomotorik
-

### Wichtige Fachtermini:

<b>Kinematik</b>	beschäftigt sich mit der Geometrie einer Bewegung (Ortsveränderung von Körpern, raum-zeitliche Struktur einer Bewegung)
<b>Latenzzeit</b>	Die Zeit von der Wahrnehmung eines Reizes bis zum Beginn der Reaktion.
<b>Implizites Lernen</b>	Unbewusstes Lernen
<b>Afferenz</b>	Informationen, die vor einer Bewegung durch die Sinnesorgane (z.B. Augen und Ohren) aufgenommen und an das zentrale Nervensystem weitergeleitet werden.
<b>Efferenz</b>	Informationen (motorische Kommandos), die vom zentralen Nervensystem zur Peripherie (Muskulatur) gesendet werden.
<b>Akzeleration</b>	Entwicklungsbeschleunigung; das frühere Eintreten der körperlichen Reife bei Jugendlichen - verglichen mit früheren Generationen.
<b>Motorik</b>	ist die Fähigkeit des Körpers sich zu bewegen.
<b>Motorisches Programm</b>	Eine abgespeicherte Sequenz von Befehlen für bestimmte Muskeln oder Muskelgruppen, welche ohne laufende sensorische Rückmeldung Bewegungen koordiniert in Gang setzen kann.

## 2 ASPEKTE DES MOTORISCHEN LERNENS

### 2.1 Antriebsregulation und Motive:

#### 2.1.1 Orientierungsregulative Voraussetzungen:

- Sensomotorische Ebene:

Empfindungsfähigkeit	Wahrnehmungsfähigkeit	Beobachtungsfähigkeit
----------------------	-----------------------	-----------------------

- Kognitive Ebene:

Antizipationsfähigkeit	Vorstellungsfähigkeit	Entscheidungsfähigkeit
Programmierungsfähigkeit	Bewertungsfähigkeit	

#### 2.1.2 Antriebsregulative Voraussetzungen:

- Impulsiv – dranghafte Antriebe:

Bewegungsdrang	Lust	Begeisterung	Verstimmung	Verzweiflung
----------------	------	--------------	-------------	--------------

- Emotional – affektive Antriebe:

Freude	Angst	Wut	Mut
--------	-------	-----	-----

- Gnostisch – volitive Antriebe:

Zielstrebigkeit	Konzentration	Selbstbeherrschung
-----------------	---------------	--------------------

#### 2.1.3 Ausführungsregulative Voraussetzungen:

- Konditionelle Fähigkeiten

Krafftätigkeit	Ausdauerfähigkeit	Schnelligkeitsfähigkeit	Beweglichkeit
----------------	-------------------	-------------------------	---------------

- Koordinative Fähigkeit:

Differenzierungsfähigkeit	Gleichgewichtsfähigkeit	Reaktionsfähigkeit
Rhythmusfähigkeit	Orientierungsfähigkeit	



#### **2.1.4 Regulationsebenen im Bereich Antrieb/ Motivation**

- Gnostisch – volitiv: (Durchhaltevermöge, Zielgerichtetheit)  
Diese Ebene beschreibt Antriebe, die durch die Erkenntnis gestützt und den Willen geleitet sind. Willentlich – man will etwas erreichen, zielgerichtet arbeiten; Konzentration, Zielstrebigkeit, Selbstbeherrschung.
- Emotional – affektiv: (Freude, Ärger, Ekstase, Wut, Angst, Stolz)  
Emotionale Zustände bis hin zu Affekten sind dem Sport in ureigenster Weise zugehörig. Sieg und Niederlage können anspornen oder deprimieren. Emotionen können Lernen fördern, wie auch zum Erliegen bringen.
- Impulsiv – dranghaft: (Funktionslust, Bewegungsdrang, Triebhandlungen)  
Die beherrschende Dimension ist die Poliarität von Lust – Unlust. Antriebe dieser Ebene durchziehen alle Lernphasen, unterliegen aber einem unterschiedlichen Grad an bewusster Kontrolle.

#### **2.1.5 Antriebsregulation**

Thorndike (1927) „Law of Effekt“ = Belohnung und Verstärkung richtiger Reaktionen, so seine Hypothese, erhöhen die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens  
Keine Rückinformation – viele Wiederholungen, jedoch nur wenig Lernerfolg  
genaue quantitative Rückmeldungen sind alternativen (z.B.: richtig/falsch) überlegen

Kunst des Motivierens: innere Antriebe des Lernenden nutzen!

#### **2.1.6 Formen der Motive:**

Individuell (Selbsterhalt, Überleben, Neugier, Reizsucht, Leistungsmotiv, Machtmotiv) und  
sozial gelagerte Motive (Mannschaftsvergleich, Staffellauf)

Ergebnisse von Vergleichswettkämpfen bei 100 m-Läufen bei unterschiedlichen Bedingungen haben ergeben, dass die Läufer beim Einzellauf langsamer waren als beim Lauf zusammen und beim Lauf „Mannschaften gegeneinander“ am schnellsten – daraus kann man die Formen der Motive sowohl individuell als auch sozial gelagert erkennen.

## 2.2 Instruktionsarten und Lernstoffdarbietung:

Rolle der Instruktion beim motorischen Lernen:

*Das Experiment von JUDD (1908): In einem Experiment sollten zwei Schülergruppen lernen, einen Speer auf eine im Wasser befindliche Scheibe zu werfen. Die eine Gruppe wurde mit den Gesetzen der Lichtbrechung vertraut gemacht, die andere Gruppe nicht. Nun weiß jeder aus eigener Erfahrung, dass sich Gegenstände im Wasser scheinbar verschieben. Der optische Eindruck zeigt einem zwar eine bestimmte Position an, die tatsächliche Lage des Gegenstandes unter Wasser weicht aber von der wahrgenommenen ab. Es war daher zu erwarten, dass die Kenntnis der Gesetze, nach denen sich das Licht am Übergang Luft – Wasser bricht, positiv auf die Zielleistung auswirkt. Die konnte allerdings bei JUDD nicht direkt nachgewiesen werden, dann zunächst ergaben sich im Lernerfolg keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Erst nachdem die Aufgabenstellung verändert wurde (Variation der Wassertiefe), zeigte sich die Wirkung der Kenntnisse. Die Gruppe, die die Brechungsgesetze des Lichts beherrschte, zeigte unter veränderten Bedingungen eine klare Leistungsüberlegenheit.*

Instruktionen können unterschiedliche Formen annehmen, die man im Wesentlichen folgendermaßen unterscheiden kann:

„Reiner“ Zielbezug: es werden lediglich die Leistungsparameter vorgegeben, die letztlich erreicht werden müssen.

Vorgaben von bestimmten Parametern und Sollwerten, die einzuhalten sind und die die raum-zeitliche Struktur des Bewegungsvollzuges betreffen.

Vermittlung von vorwiegend biomechanischen Kenntnissen/Prinzipien und physikalischen Gesetzen. Metaphorische Umschreibung der Prinzipien (kindgerechte Sprache)

Es soll auf eine Überlegenheit von metaphorischen Instruktionen geachtet werden.

Audiovisuelle Medien (Bilder, Videos) führen zu keiner nachgewiesenen Leistungsüberlegenheit gegenüber den Textkomponenten bzw. der Sprache.

Dem Videoeinsatz wird eher motivierende Wirkung zugeschrieben.

### 2.2.1 Lernen und Rückinformation:

Der Umgang mit Rückinformationen bestimmt den sportmotorischen Lernerfolg wesentlich.

Doppelte Dimension der Rückinformation: objektive Daten und motivationale Dimension. Die Kunst der Handhabung besteht in der Ausgewogenheit der Dimensionen.

- Das Medium (verbal, Video,...)
- Der Umfang der Informationen
- Die Zeit zwischen Leistung und Rückmeldung
- Die Häufigkeit der Hinweise (Anfänger – Fortgeschrittener)

Bei Anfängern ist darauf zu achten, dass ein Leistungsparameter einer motorischen Aufgabe nicht zu schnell ins Zentrum der Rückinformation gestellt wird. Es ist günstiger sich zunächst stärker auf Aspekte der Ausführung zu orientieren, um die Entwicklung einer ökonomischen Technik zu befördern. Beim Anfänger sollte die Informationsmenge in den Rückmeldungen stark limitiert werden. Ein wichtiger Aspekt für die Wirksamkeit ist die Verkürzung der Zeitspanne zur Bewegungsausführung, so dass noch ein Vergleich der objektiven Hinweise mit dem subjektiven Bewegungsempfinden ermöglicht wird. (Thorhauer 1907,6).

### 2.2.2 Lernen als Strukturänderung

LEIST spricht vom „Umbau technischer Lösungen“ (Bsp.: Pedalofahren) = Umstrukturierungen im motorischen Lernprozess

Am Beginn der sportlichen Laufbahn herrscht Einheitlichkeit der ausgeprägten Konturen. Im Verlauf der Leistungsentwicklung kommt es zu deutlichen Differenzierungen bis hin zu scharf abgegrenzten Strukturen, die alle das Erreichen von Höchstleistungen gestatten.

### 2.2.3 Induktion – Deduktion (vgl. Vorlesung 1. Semester)

Induktion	Deduktion
Bewegungsaufgabe	Vormachen und Vorzeigen der Zielübung
Suchen und Erproben	Beschreiben und Erklären
Herausstellen der besten Lösung	Bewegungsanweisung
Korrektur	Bewegungshilfe, Bewegungskorrektur
Üben, Anwenden	Üben, Anwenden

### 2.2.4 Teil- und Ganzlernmethode

Igor PAKLIN (Hochsprungweltrekord 1985 = 2,41 m): Zitat: „Durch Harmonie. Ich bemühe mich, alle Elemente des Sprungs harmonisch miteinander zu verbinden.“

Die Ganzlernmethode ist einem Teillernen überlegen. Teillernen ist wegen der oft komplexen Technik die einzelne Möglichkeit.

Es lassen sich in verschiedenen Sportdisziplinen nur sehr eingeschränkt Teilphasen für ein spezielles Training heraus gliedern. Oft muss die Bewegung als Ganzes absolviert werden, um überhaupt zu gelingen. Allgemein kann man folgende Aspekte hervorheben, die eine Indikation eines Teillebens angebracht erscheinen lassen:

- Komplexität und Kompliziertheit der Bewegung

- Auffrischen motorischer Gedächtnisinhalte
- Ausloten von biomechanischen bzw. physikalischen Grenzbereichen
- Ökonomisierung des Trainings

### **2.2.5 Unbewusstes vs. bewusstes Lernen**

Unbewusstes Lernen (impliziertes Lernen):  
 die Muttersprache (kein explizites Lernen der grammatikalischen Regeln)  
 ähnlich ist es auch im Bereich der Bewegung und des Sports (implizites Lernen)  
 Bewusste Wahrnehmung hat nur eine bestimmte Kapazität  
 die Aufmerksamkeit nimmt eine Schlüsselstellung im Gesamtgeschehen ein.

### **2.2.6 Merksätze zum motorischen Lernen**

- Lernen führt zur Leistung.
- Verhältnis von Koordination und Kondition.
- Die Sensorik lernt mit.
- Lernen interessant und anregend gestalten.
- Die Persönlichkeit des Lernenden beachten.
- Lernen ist auch Umbau und zeitweiliger Rückschritt.
- Den Wert des „Abgewöhnens“ erkennen!
- Die Bewegungslehre bietet keine Rezepte

### 3 BEWEGUNGSMERKMALE

#### 3.1 Gründe für die Analyse sportlicher Bewegungen:

1. Der Lehrende muss den zu vermittelnden Bewegungsablauf genau kennen, um
  - eine gute Bewegungsvorstellung zu vermitteln,
  - methodisch richtig anzuleiten,
  - selbst demonstrieren zu können.
2. Die Lehrenden und Lernenden müssen den Bewegungsablauf erkennen können, um
  - die richtigen Lehr- und Lernwege zu nutzen,
  - Fehler im Lernprozess zu vermeiden,
  - keine Überforderung zu provozieren.

#### 3.2 Einteilungskriterien von Bewegungen:

- **Translation – Rotation**

Eine translatorische Bewegung liegt vor, wenn alle Punkte eines Körpers parallele Bahnen beschreiben. (Sprintlauf,...)

Eine rotatorische Bewegung liegt vor, wenn die Punkte eines Körpers konzentrische Kreise beschreiben. (Turnen,...) Ein wichtiges Merkmal rotatorischer Bewegungen sind die auftretenden Fliehkräfte, welche vom Sportler beherrscht werden müssen.

- **Einfache – Komplexe Bewegungen**

Einfache Bewegungen haben meist eine kurze Zeitdauer und sind oft nur translatorisch oder rotatorisch (Schlagbewegungen,...)

Komplexe Bewegungen bestehen aus einer bestimmten Anzahl von Teilbewegungen und können eine längere Zeitdauer haben.

- **Verlaufsorientierte – Resultatsorientierte Bewegungen**

ästhetische Qualität – messbare Leistungen

z.B.: Geräteturnen, Turmspringen – Sprint, Weitsprung

- **Stereotype (standardisierte) – Situative (nicht standardisierte) Bewegungen**  
z.B.: Kür (vorgeschriebene feste Struktur) – Ballsport (Reaktionen auf ändernde Situation)
- **Azyklische – Zyklische Bewegungen**  
Azyklische Bewegungen: deutliche Gliederung (Vorbereitungs-, Haupt-, Endphase), einmalige Bewegungen (Sprünge im Turnen,...)  
Zyklische Bewegungen: weisen identische Formen auf (Ruderschläge,...)
- **Einzelausführung – soziale Einbindung**  
Verschiedene Bewegungen beim Werfen von Bällen werden im Spiel oft bewusst in andere Richtungen angedeutet, um einen Gegner zu täuschen. In den Individualsportarten ist dies nicht erforderlich.
- **Gerätenutzung – Körperbeherrschung**  
In einigen Sportarten dienen die Bewegungen dazu, Geräte zu kontrollieren und zu steuern. (Tennis,...)  
Die Beherrschung des eigenen Körpers ist für viele Sportarten ein wesentlicher Teil. (Turnen,...)
- **Technische Ähnlichkeit - Handlungsähnlichkeit**  
Technische Ähnlichkeit (Kippbewegungen im Turnen, Würfe von Bällen,...)  
Handlungsähnlichkeiten sind durch die Ziele bestimmt, die es zu erreichen gilt. (Die Ballabgabe im Handball an einen anderen Spieler, mag ähnlich aussehen, wie ein Torwurf)

### 3.3 Qualitative und Quantitative Bewegungsmerkmale

**Qualitative Bewegungsmerkmale** sind beobachtbar und werden genutzt, um die äußere Form einer Bewegung zu analysieren und zu beschreiben.

- **Bewegungsrhythmus**  
Bewegungs-Merkmal der zeitlichen Ordnung

Charakteristische zeitliche Ordnung eines Bewegungsablaufs, sichtbar im dynamischen und räumlich-zeitlichen Verlauf. Gleichartige Elemente werden bei Wiederholungen flüssig ineinander gefügt.

- **Bewegungskopplung**

Zweckmäßige Zusammenspiel der Teilbewegungen in einem Bewegungsablauf

Teilbewegungen müssen sowohl räumlich, zeitlich und dynamisch aufeinander abgestimmt sein, damit man von einer gelungenen Bewegung sprechen kann.

- **Bewegungsfluss**

Kontinuität des Verlaufs einer Bewegung. Abgestimmtes Verhältnis von Kraftimpulsen

Bewegungsfluss ist der Grad der Kontinuität im Ablauf eines motorische Aktes, erschließt die **Bewegungselastizität** als eine spezielle Ausprägung des Bewegungsflusses ein.

- **Bewegungspräzision**

Übereinstimmung von Soll- und Istwert

Objektivierbarer durch direkten oder indirekten Ist-Soll-Wertvergleich.

- **Bewegungskonstanz**

Übereinstimmung wiederholter Bewegungsabläufe beim Vergleich untereinander

Die Bewegungskonstanz erstreckt sich auf Leistungsergebnisse oder die Bewegungsstruktur und deren Merkmale, Kennlinien und Kenngrößen.

- **Bewegungsumfang**

Räumliche Ausdehnung eines Bewegungsablaufs

Optimum wird durch Anforderung der Bewegungsaufgabe vorgegeben; qualitative Erhebung durch vergleichende Beobachtung und Einschätzung durch Sportlehrer und Trainer.

- **Bewegungstempo**

Schnelligkeit von Gesamt- oder Teilbewegungen

Das Bewegungstempo bezieht sich auf die zeitliche Dauer bzw. Bewegungsfrequenz und Geschwindigkeit von genauen Bewegungsakten oder von Teilbewegungen.

- **Bewegungsstärke**

Merkmal des Krafteinsatzes beim Bewegungsvollzug

Objektivierung durch dynamografische und physiologische Methoden möglich.

**Quantitative Bewegungsmerkmale** sind mess- und berechenbar und werden genutzt, um die mechanischen Größen einer Bewegung zu objektivieren.

**Arten:**

**kinematische Bewegungsmerkmale**

**le**

**Länge**

**Zeit**

**Weg**

**Geschwindigkeit**

**Beschleunigung**

**dynamische Bewegungsmerkma-**

**le**  
**Masse**

**Kraft**

**Arbeit**

**Leistung**

**Impuls**



## 4 BIOMECHANISCHE PRINZIPIEN

Optimale Bewegungsabläufe müssen physikalische und mechanische Prinzipien berücksichtigen. 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 Bewegungsapparates vorgegeben:

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

Aber es ist nicht möglich, aus einem physikalischen Gesetz unmittelbar einen optimalen Bewegungsablauf zu konstruieren, da der Körper und die Sportart/Bewegung spezifische Voraussetzungen haben. Deshalb sollte man von biomechanischen Prinzipien als Leitlinien sprechen (Gesetze wie in der Physik sind es nicht).

Es sind von Hochmuth **6 verschiedene biomechanische Prinzipien** formuliert worden:

1. **Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges**
2. **Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf**
3. **Prinzip der Impulserhaltung / Drehimpulserhaltung**
4. **Prinzip der Gegenwirkung**
5. **Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen**
6. **Prinzip der optimalen Anfangskraft**

### Das Wesen biomechanischer Prinzipien:

- Anwendung mechanischer Gesetze auf biologische Systeme (Muskelkräfte als Hauptantrieb für die Bewegungen)
- Zielstellung: Optimierung von Bewegungsabläufen durch Ausnutzung mechanischer Grundgesetze

- Leitfaden für das Erkennen der Ursachen und Wirkmechanismen bei fehlerhafter Bewegungsausführung
- Unterstützung bei der Entwicklung methodischer Reihen zum Erarbeiten komplizierter Bewegungsabläufe (Optimierung des Lehrprozesses)

#### **4.1 Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges**

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 bei solchen sportlichen Bewegungen zum Tragen, die hohe Endgeschwindigkeiten erfordern (z. B. Würfe/Stöße in der Leichtathletik).

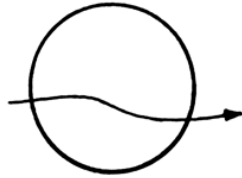
Länge und Richtung des Beschleunigungsverlaufs müssen optimal gestaltet werden. Optimal bedeutet nicht unbedingt maximale Länge des Beschleunigungsweges.

##### **zielt auf die Optimierung der Länge und Struktur des Beschleunigungsweges**

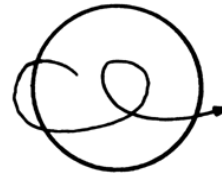
- lang genug, um genügend Zeit zu haben, die verfügbaren Energiereserven für die Beschleunigung zu mobilisieren
- aber nicht zu lang, um nicht Kraft und Energie zu verschenken
- Beschleunigungsweg möglichst geradlinig oder gleichmäßig gekrümmt

## Beispiel: künstliche“ Verlängerung des Beschleunigungsweges in Wurfdisziplinen

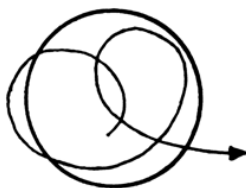
Kugel: O'Brian-Technik



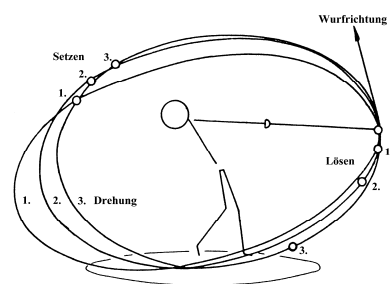
Kugel: Drehstosstechnik



Diskuswurf



Hammerwurf



### 4.2 Prinzip der optimalen Tendenz im Beschleunigungsverlauf

Je nach Sportartspezifischer Zielsetzung kann sich der Beschleunigungsverlauf in **maximale Endgeschwindigkeit** oder **minimale Bewegungsdauer** unterscheiden.

- **maximale Endgeschwindigkeit:**

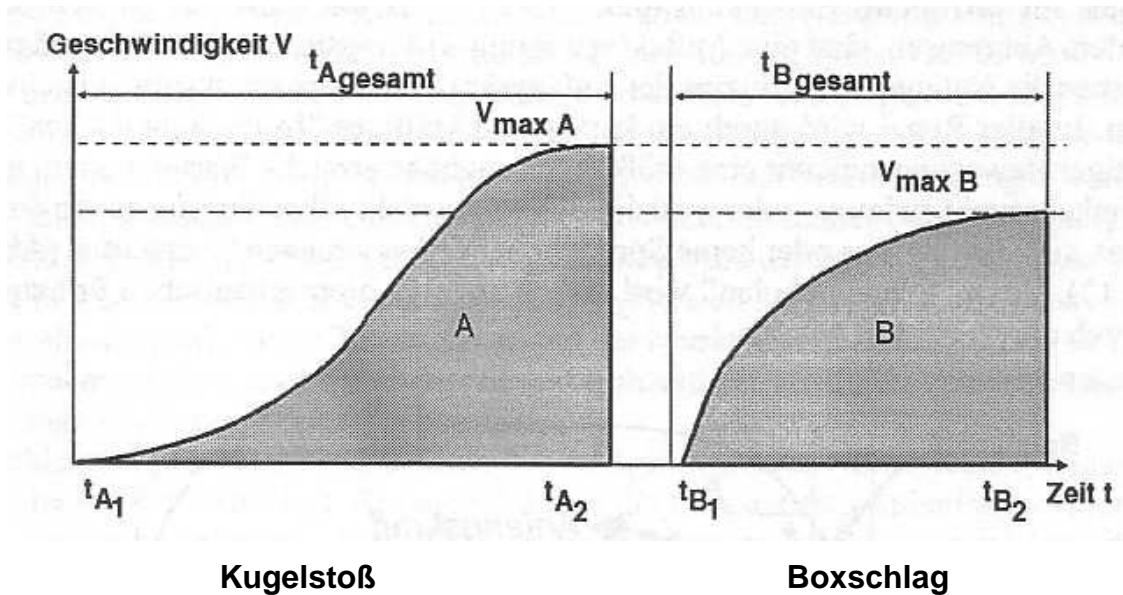
Die Hauptbeschleunigung erfolgt erst im letzten Drittel der Bewegung, das heißt eine künstliche Verzögerung des Bewegungsablaufes wird erzeugt um z.B. Körperspannung für zusätzliche Kraftmobilisierung aufzubauen.

Beispiel: Wurfarten (Hammer, Diskus, Speer)

- **minimale Bewegungsdauer:**

Die Hauptbeschleunigung erfolgt zu Beginn der Bewegung, damit die Geschwindigkeit möglichst schnell ansteigt (Maximierung der Durchschnittsgeschwindigkeit = Minimierung der Bewegungszeit). Ziel ist es Bewegungen in Möglichst kurzer Zeit auszuführen, um z.B. dem Gegner keine Chance zum reagieren zu geben.

Beispiele: Kampfsport (Judo, Boxen,...) Ballspiele (Fußball, Tennis...)



#### 4.3 Prinzip der Impulserhaltung / Drehimpulserhaltung:

Impuls (Translation)  $I = m_i * v_i$   $[kg * m^2 * s^{-1}]$   
 =  $[Nms]$   
 Drehimpuls (Rotation):  $L = J * \omega$

Das Prinzip der Impulserhaltung findet hauptsächlich Anwendung bei Drehbewegungen im Sport. Drehbewegungen können durch ein Öffnen oder Schließen in ihrer Geschwindigkeit beeinflusst werden. Ein Heranbringen von Körperteilen nahe der Drehachse führt zu einer Geschwindigkeitserhöhung, ein Abspreizen führt dagegen zu einer Verringerung der Geschwindigkeit der Drehbewegung. Grundlage dieses Prinzips ist der Drehimpulserhaltungssatz und er sagt aus, dass der Gesamtdrehimpuls in abgeschlossenen Systemen erhalten bleibt. Mit anderen Worten ausgedrückt heißt es auch, dass das Produkt aus Massenträgheitsmoment und Winkelgeschwindigkeit gleich bleibt. Ändert sich das Massenträgheitsmoment verändert sich die Winkelgeschwindigkeit entgegengesetzt proportional.

#### Beispiel zur Impulserhaltung:

Impulserhaltungssatz: In abgeschlossenen Systemen (Summe der äußeren Kräfte = 0) bleibt der Gesamtimpuls konstant.

### Bobstart (2er Bob)

**Situation 1:** Bremser schiebt noch, Fahrer sitzt bereits im Bob

→ Teilimpulse kurz vor dem Einstieg des Fahrers:

$$\text{Bob mit Fahrer: } I_{\text{Bob}} = (m_{\text{Bob}} + m_{\text{Fahrer}}) v_{\text{Bob}}$$

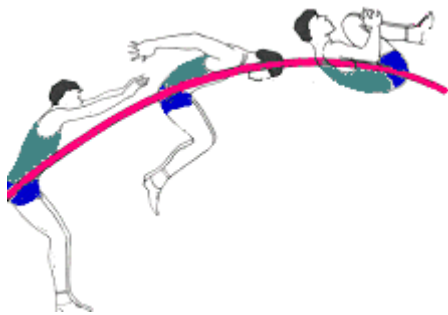
$$\text{Bremser: } I_{\text{Bremser}} = m_{\text{Bremser}} \cdot v_{\text{Bremser}}$$

**Situation 2:** Bremser steigt ein

→ Impulsbilanz: Gesamtimpuls = Summe der Teilimpulse

$$I_{\text{Bob}} = (m_{\text{Bob}} + m_{\text{Fahrer}}) v_{\text{Bob}} + m_{\text{Bremser}} \cdot v_{\text{Bremser}}$$

**Beispiele zur Drehimpulserhaltung:**



Beim Salto: Annäherung an die Körperachse



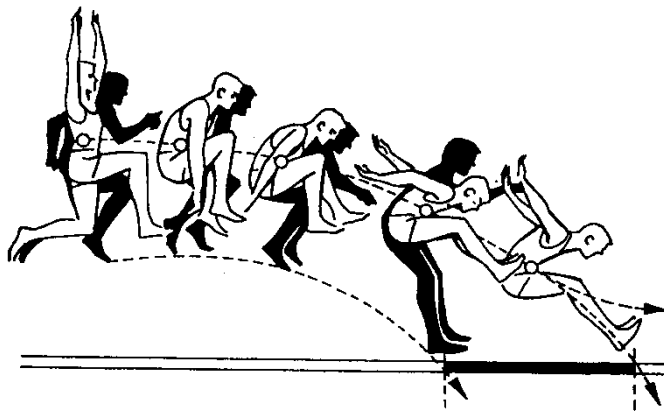
Bei der Pirouette: Annäherung an die Körperlängsachse

#### 4.4 Prinzip der Gegenwirkung:

$$\mathbf{F} = -\mathbf{F} \quad (\text{gilt für transl. und rot. Beweg.})$$

Grundlage dieses Prinzips ist das 3. Newtonsche Gesetz. Es sagt aus, dass jede Kraft eine Gegenkraft erzeugt (actio gleich reactio). Auf den Sport übertragen heißt dies, dass jede Bewegung eines Körperteils eine Gegenbewegung anderer Körperteile nach sich zieht.

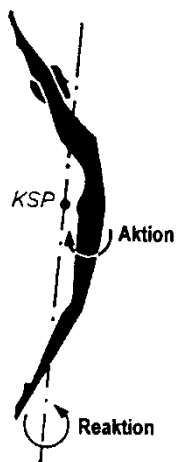
Eine Verdrehung des Oberkörpers nach links führt in der Regel zu einer Verdrehung des Unterkörpers nach rechts oder beim Weitsprung führt ein Vorbeugen des Oberkörpers in der Flugphase zu einer Streckung der Beine nach vorne.



Landevorbereitung (Weitsprung)



Arm-Bein-Koordination



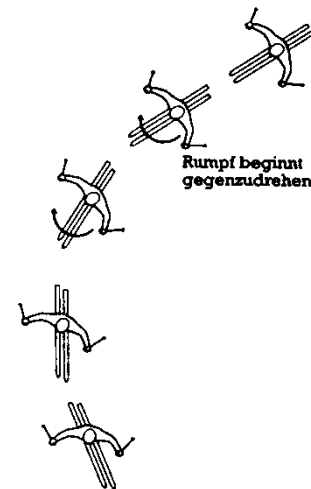
Hüftverschiebung



Sprungwurf (Handball)



Oberkörper-Gegendreuen



#### 4.5 Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen:

- opt. Übertragung der Teilimpulse von Schwungelementen auf das Gesamtsystem
- Summation von Anlauf- und Absprung- bzw. Abwurfgeschwindigkeit zu max. Endgeschw.

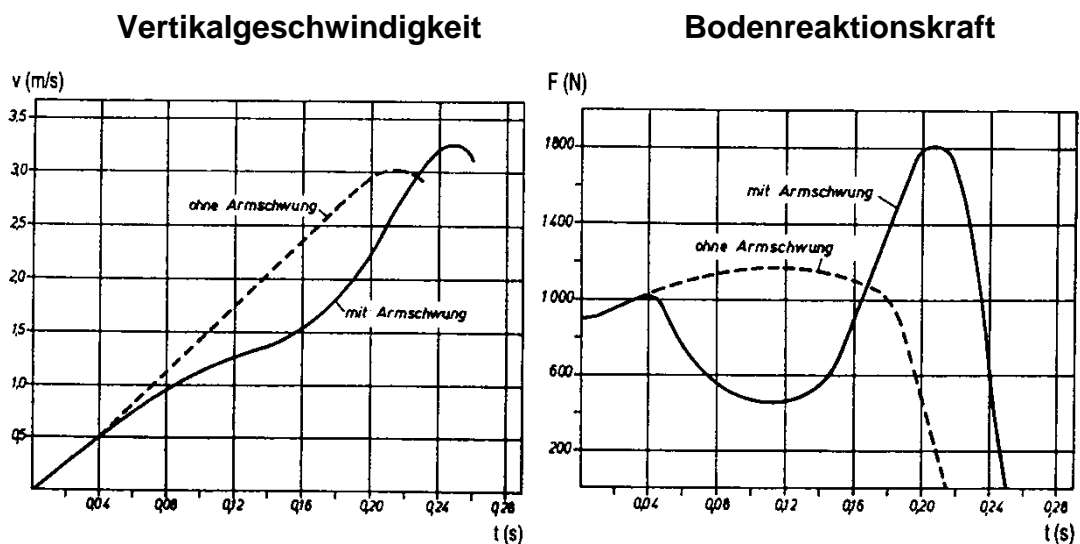
Jede sportliche Bewegung ist eine zeitliche Koordination von Einzelbewegungen. Hohe Endgeschwindigkeiten können nur dann erreicht werden, wenn alle Einzelbewegungen (Teilimpulse) optimal aufeinander abgestimmt sind.

Anhand des Speerwurfs kann dieses Prinzip verdeutlicht werden. Eine maximale Endgeschwindigkeit der Hand, von über 200 km/h, kann nur erreicht werden, wenn die Koordination der Übergänge der Einzelbewegungen vom Anlauf bis zum

Abwurf des Speers optimal gestaltet werden. Eine Verbesserung in einer Teilphase bringt nur in dem Maße eine verbesserte Endleistung, wenn es gelingt, diese optimal in die vorhergehenden und nachfolgenden Bewegungsabschnitte einzubauen. Eine Erhöhung der Anlaufgeschwindigkeit bewirkt demnach nicht unbedingt eine höhere Endgeschwindigkeit der Hand beim Abwurf.

### Beispiele:

- Doppelarmeinsatz und Schwungbeineinsatz beim Absprung im Hochsprung
- Komb. von Armstreckung und Beinstreckung in der Ausstoßphase beim Kugelstoßen (Summation der Teilgeschwindigkeiten)
- Wirkung des Armschwunges bei einem Streck sprung:



- Erhöhung der Bodenreaktionskraft durch Armbeschl. nach oben → höherer Kraftstoß als ohne Armschwung
- Zusatzeffekt: Impuls der Arme kann auf Gesamtkörper übertragen werden

## 4.6 Prinzip der optimalen Anfangskraft

Dieses Prinzip besagt, dass eine Bewegung, bei der der Sportler eine hohe Endgeschwindigkeit erreichen soll, diese durch eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung einzuleiten ist. Wichtig ist hierbei, die einleitende Bewegung flüssig in die eigentliche Bewegung zu überführen.

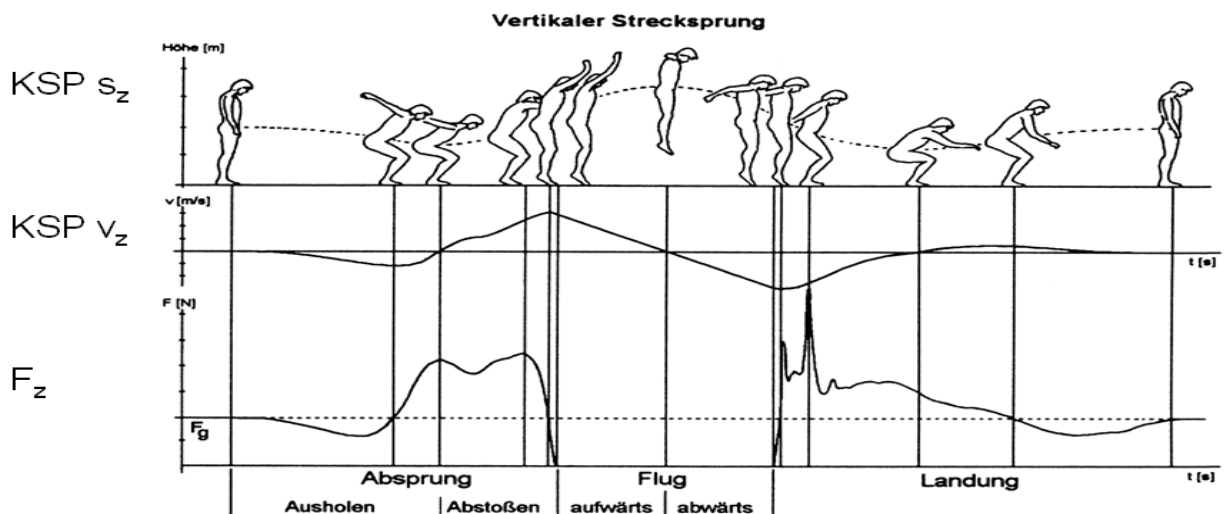
Eine entgegengesetzte Bewegung wird in der Praxis durch eine Auftaktbewegung realisiert. Diese führt zu einer Erhöhung des Kraftstoßes und damit zu einer Erhö-

hung der Fläche unter der Kurve im Kraft-Zeit-Verlauf, im Gegensatz zur gleichen Bewegung ohne Auftakt. Anhand einer Waage kann das Wirken einer Anfangskraft veranschaulicht werden. Stellt man sich auf eine Waage, wirkt die Gewichtskraft. Durch ein schnelles in die Knie gehen wird die Waage während der Bewegung einen Gewichtsverlust anzeigen und damit sinkt die ausgeübte Kraft auf die Waage. Beim Abstoppen wird das Körpergewicht gegenüber dem Ruhewert für den Bruchteil einer Sekunde deutlich ansteigen. Die Bodenreaktionskraft nimmt kurzzeitig zu und kann im Extremfall um ein Vielfaches des Körpergewichts ansteigen. Diese erhöhte Kraft ist die Anfangskraft und kann sofort für eine folgende Bewegung genutzt werden, z.B. für einen nach oben gerichteten Sprung. Die Anfangskraft steht immer nur für einen Bruchteil einer Sekunde zur Verfügung. Wird eine Auftaktbewegung zu langsam ausgeführt, verpufft der Effekt der Anfangskraft.

### Prinzip der Anfangskraft beim Sprung nach oben:



### Beispiel: Streck sprung mit Auftaktbewegung





## 5 BEWEGUNGSPHASEN

### 5.1 Kurt Meinel, Günther Schnabel

Als Grundstruktur sportlicher Bewegungsakte verstehen wir deren Aufbau aus Teilprozessen (Phasen), die entsprechend der jeweiligen Aufgabenstellung eine bestimmte Teilfunktion erfüllen und durch funktionelle Beziehungen miteinander verknüpft sind.

#### 5.1.1 Klassische Phasengliederung

Um die optimale Ausführung einer sportlichen Bewegung charakterisieren zu können, hat Meinel ein Kategoriensystem aus acht Kategorien entwickelt. Die bekannteste Kategorie dient der Charakterisierung des räumlich-zeitlichen Verlaufs einer optimalen Ausführung. Es handelt sich um die „Phasenstruktur“. Über sie wird die „klassische“ Gliederung einer sportlichen Bewegung beschrieben. Bewegungen wie etwa ein Wurf, ein Sprung, oder eine Kippe lassen sich dreifach gliedern. Es ist deutlich eine einleitende Phase abgrenzbar, die Meinel entsprechend ihrer Funktion als „**Vorbereitungsphase**“ bezeichnet. Diese geht über in die „**Hauptphase**“, die die eigentliche, unmittelbare Bewältigung der Bewegungsaufgabe darstellt. Mit dieser wiederum bricht die Bewegung nicht einfach ab. Sie klingt vielmehr in einer „**Endphase**“ aus. „Als Phasenstruktur für jede ganzkörperliche Arbeits- und sportliche Bewegung ergibt sich demnach die Dreigliederung Vorbereitungsphase, Hauptphase und Endphase“.

*Zweckbeziehung (finale Relation = Beeinflussung)*



Spätere folgende Phase beeinflusst die vorangehende Phase, muss in der Planung des Bewegungsablaufes berücksichtigt werden.

*Ergebnisbeziehung (resultative Relation = Abhängigkeit)*



Haupt- und Endphase sind abhängig vom Ergebnis der vorhergehenden Phase.

*Ursächlicher Zusammenhang (kausale Relation = Verursachung)*

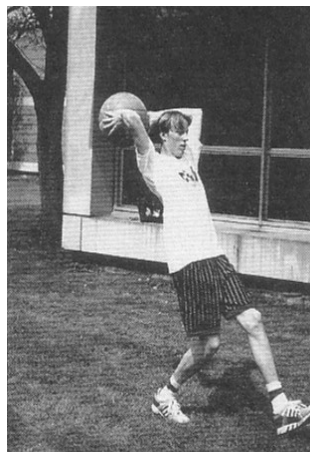


Endphase wird von der Hauptphase verursacht. Zwischen Vorbereitungsphase und Hauptphase besteht eine solche Beziehung nicht notwendigerweise, da letztere auch ohne spezielle Vorbereitung auskommt.

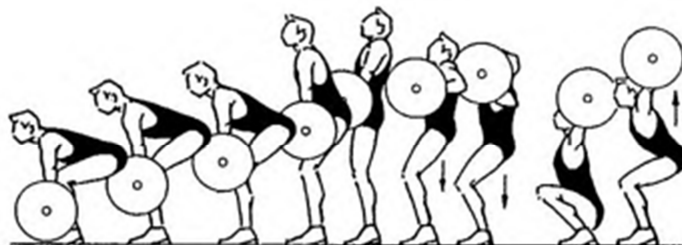


### 5.1.2 Vorbereitungsphase

- Schaffung optimaler Voraussetzungen für die erfolgreiche und ökonomische Ausführung der Hauptphase
- Kann in Form von Ausholbewegungen stattfinden:  
Charakteristisch für die Ausholbewegung ist ihre Bewegungsrichtung. Sie wird in Gegenrichtung zur nachfolgenden Hauptbewegung ausgeführt. Vor einem Sprung erfolgt eine Senkbewegung des Körpers, vor einem Wurf eine Rückwärtsbewegung des Wurfarmes, der Wurf Schulter und zumeist auch des ganzen Körpers. Die Vorbereitung der Hauptphase durch die Ausholbewegung besteht darin, dass für die beteiligte Muskulatur ein optimaler Arbeitsweg und günstige Winkelverhältnisse der Gelenke geschaffen werden.
- Optimaler Beschleunigungsweg
- Außerdem ermöglicht die Ausholbewegung (vorausgesetzt, dass zwischen Vorbeireitungs- und Hauptphase keine Pause ist) vom Moment der Bewegungsumkehr an eine höhere Anfangskraft.



*Beispiel: Einwurf*



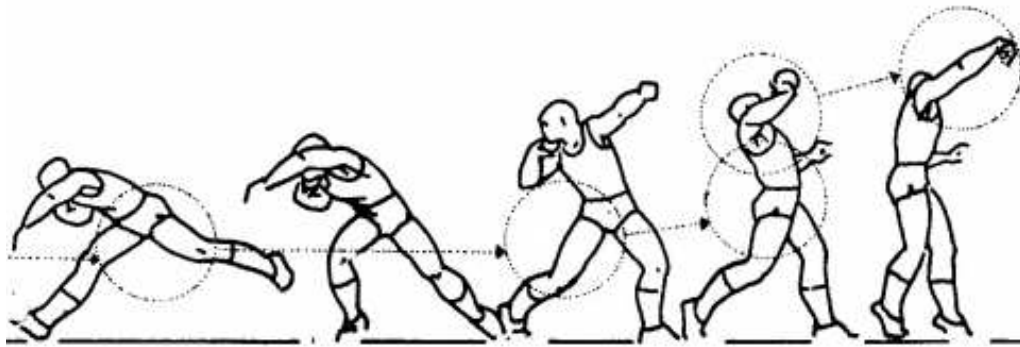
*Beispiel: Gewichtheben*

*starke Ausholbewegung*

- Kann in Form von Anlauf-, Anschwung- oder Angleitbewegungen stattfinden:

Das betrifft alle Sprünge und Würfe mit Anlauf, den Kugelstuss mit Angleiten, die Rotationswürde und das Skispringen. Unter Anlauf ist dabei nur ein Lauf zu verstehen, der nicht mit der Zielstellung ausgeführt wird, sondern der Zielstellung (Lokomotion) „Sprung“ oder „Wurf“ untergeordnet ist und sich infolgedessen zumeist auch äußerlich vom Lauf als selbstständige Lokomotionsbewegung unterscheidet.

Anlauf-, Anschwung- und Angleitbewegung haben eine andere Bewegungsrichtung als die Ausholbewegung. Sie erfolgen annähernd in der gleichen Richtung wie die Hauptbewegung. Dadurch kommt es im Endergebnis zu einer höheren Leistung als bei einem Sprung aus dem Stand, einem Wurf oder Stoß ohne Anlauf beziehungsweise Angleiten.



*Beispiel: Angleiten beim Kugelstoßen*

### 5.1.3 Die Hauptphase

"Das Kernstück einer sportlichen Bewegung ist die Hauptphase. Ihre Bedeutung liegt in der unmittelbaren Bewältigung der entsprechenden Bewegungsaufgabe. Ihre Funktion ist, die gestellte Aufgabe zu lösen. Wenn wir einen möglichst hohen Schlussprung oder einen möglichst weiten Stoß oder eine möglichst schnelle Fortbewegung im Wasser oder auf dem Eis erreichen wollen, dann werden diese Aufgaben durch die in der Hauptphase ausgeführten Aktionen gelöst: durch das möglichst schnelle Strecken in Sprung-, Knie- und Hüftgelenk beim Springen, durch die vom Körper weg gerichtete Armstreckung beim Stoßen oder durch die nach hinten gerichteten Arm- bzw. Beinbewegungen im Wasser oder auf dem Eis.



*Beispiel: Bodenkippe*

## 2 Möglichkeiten zum Lösen der Aufgaben

- *Typ1:*

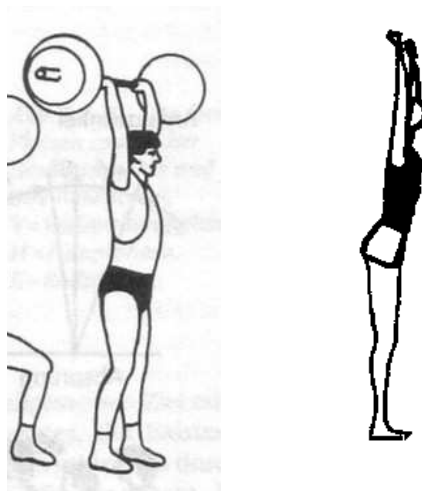
Umfasst diejenigen Aufgaben, in denen man nur sich selbst einen Bewegungsimpuls zu erteilen hat, um von der einen zu einer anderen Ortsstelle zu kommen, um also sogenannte Lokomotionen auszuführen. Beispiele hierfür sind das Laufen, das Springen, das Schwimmen oder Rudern.

- *Typ 2:*

Steht nicht die Bewegung des eigenen, sondern die eines anderen Körpers im Vordergrund. Der eigene Körper oder auch nur Teile des eigenen Körpers, die Hand, der Fuß, beim Kopfball auch der Kopf, müssen so bewegt werden, dass das mit dem Körperteil kontaktierende Objekt in gezielter Weise bewegt wird. Beispiele hierfür sind das Weitwerfen, das Kicken, das Schlagen des Tennisballs oder des (Box-) Gegners. .."

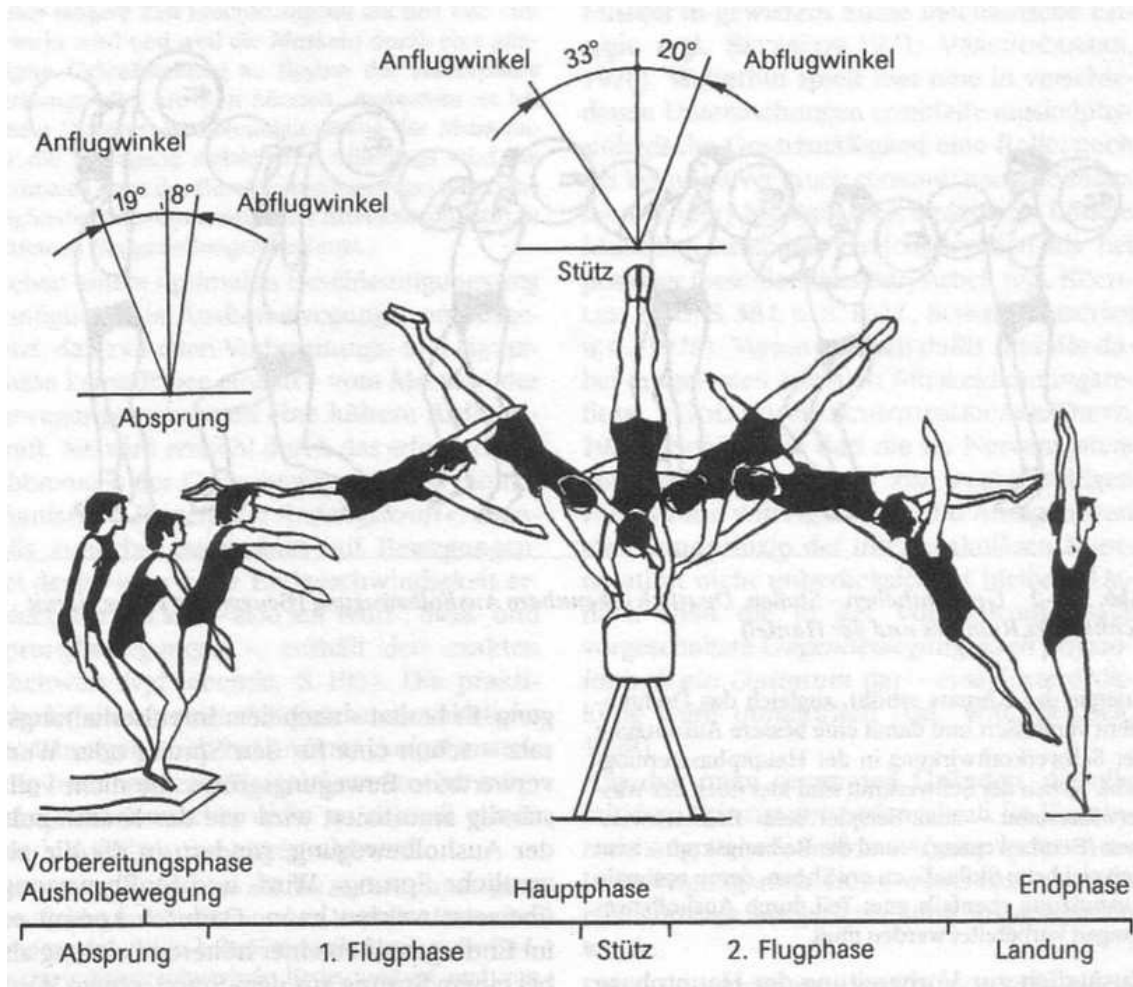
### **5.1.4 Die Endphase**

Die allgemeine Funktion der Endphase ergibt sich aus dem Tatbestand, dass die Hauptphase meist zu einem Zeitpunkt beendet ist, zu dem sich der Körper noch in intensiver Bewegung oder in einem labilen Gleichgewichtszustand befindet. Die Endphase führt dann im Ergebnis zu einem statischen Zustand (z.B.: Abgang vom Gerät), oder sie stellt ein Durchgangsstadium, das heißt eine unspezifische Vorbereitung für weitere Bewegungsakte dar. Zum Beispiel, wenn wir an einen Umschwung vorwärts vorlings oder an einen Kippaufschwung eine Hocke anschließen wollen, dann muss die Endphase des Umschwungs oder der Kippe bereits die Vorbereitungsphase der Hocke überlagert sein.



*Beispiele: Gewichtheben und Landung*

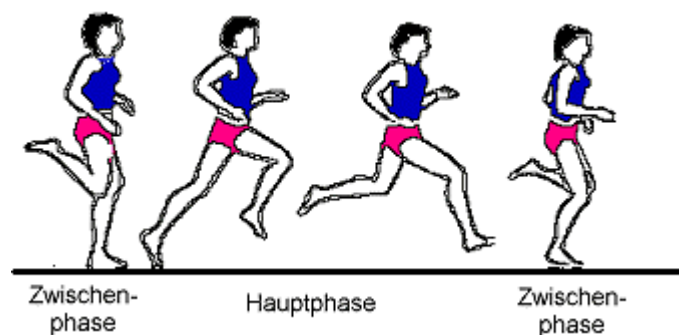
### 5.1.5 Gesamtbewegung



Beispiel: Handstand- Sprungüberschlag seitwärts

### 5.1.6 Zyklische Bewegungen

Der Bewegungsablauf wiederholt sich mehrfach. Dabei fällt die Endphase des vorhergehenden Zyklus mit der Vorbereitungsphase des folgenden zusammen. Insofern haben wir hier eine zweiphasige Bewegung: Hauptphase – Zwischenphase (z.B.: Schilau, Rudern, Radfahren, Schwimmen, Laufen,...)



Beispiel: Laufen

### 5.1.7 Azyklische Bewegungen

Das Bewegungsziel wird durch eine einmalige Aktion erreicht. Die Reihenfolge der Bewegungen ist nicht umkehrbar. Es lassen sich Vorbereitungs-, Haupt-, und Endphase unterscheiden.

### 5.1.8 Weitere Untergliederung der Phasen

In der Untergliederung der Phasen ist eine ganze Gruppe von Bewegungen gesondert zu nennen. Die Gruppe von Bewegungen mit Flugphasen, also stützlosen Phasen. Demgegenüber ist festzustellen, dass die Hauptphase eines jeden Wassersprunges beginnt mit dem Absprung und endet, wenn der ganze Körper eingetaucht ist. Die Verlagerungen und Drehungen in der Flugphase sind keine selbständigen azyklischen Bewegungen, sie können nur ausgeführt werden als integrierender Bestandteil eines Sprunges oder Abganges. Es kann demnach hier nicht von Bewegungskombinationen, sondern nur von einer Bewegungserweiterung in der Hauptphase gesprochen werden.

## 5.2 Göhner

Göhner geht davon aus, dass bestimmten Abschnitten oder Phasen der Bewegung generell auch eine spezifische Funktion innewohnen müsse, um sie als eigenständig herauszuheben. Es können dadurch zwei Typen von Funktionsphasen unterschieden werden:

#### Hauptfunktionsphase:

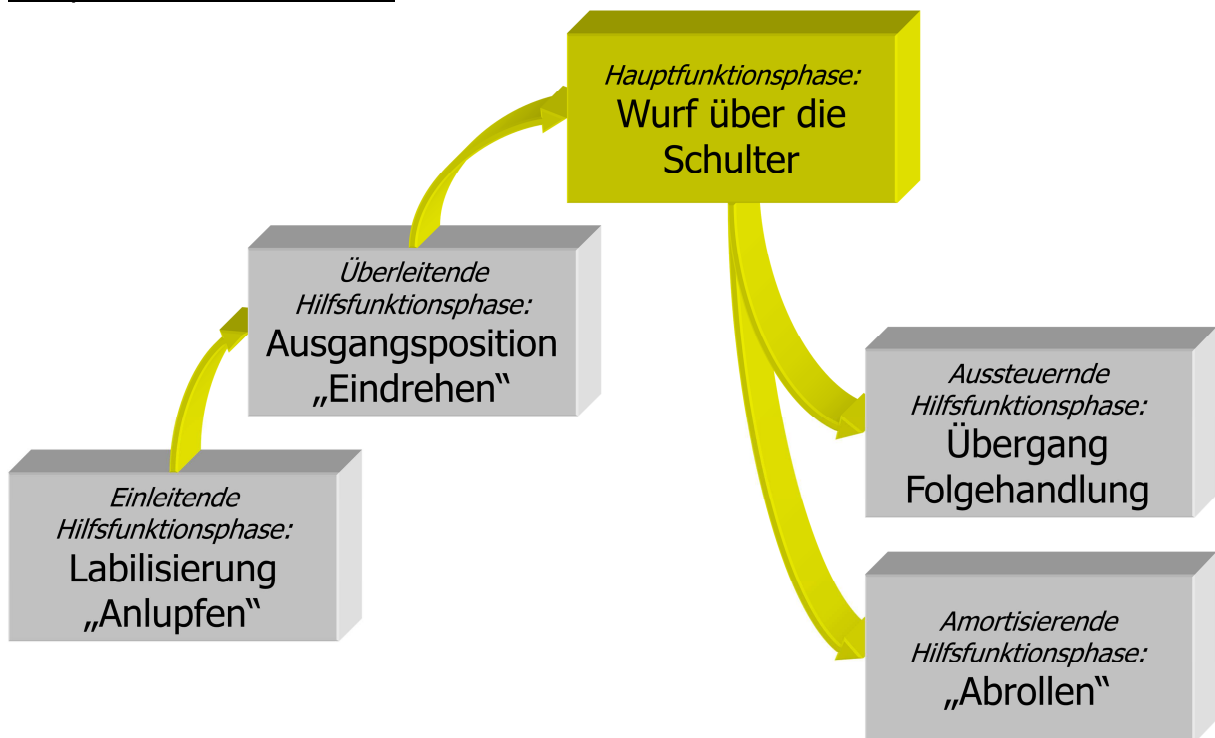
- Wichtigste Phase und der Kern des Bewegungsablaufes
- Kommt min. einmal im Bewegungsablauf vor
- Ziel der Bewegung wird durch sie bestimmt

#### Hilfsfunktionsphase:

- Realisiert bestimmte Aktion, die vorbereitenden, begleitenden, abschließenden oder überleitenden Charakter hat
- Je nach Hauptfunktion gibt es unterschiedlich viele Hilfsfunktionen
- Ist nicht direkt auf das Ziel bezogen sondern funktional abhängig von den anderen Phasen des Bewegungsablaufes

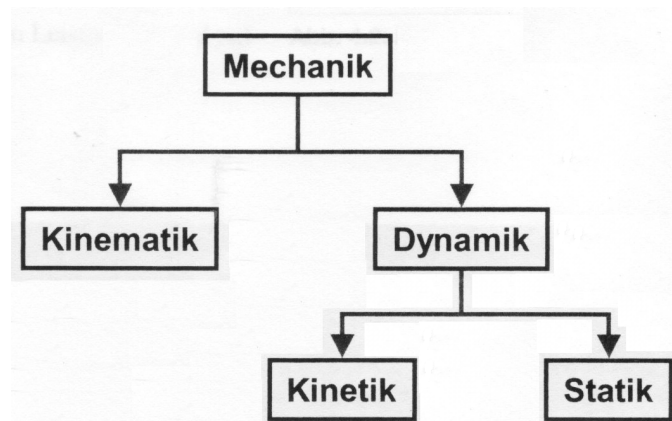


Beispiel Judo Schulterwurf:



## 6 MECHANISCHE GRUNDLAGEN UND GESETZE VON BEWEGUNGEN DES MENSCHEN

Das Wort „Mechanik“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet „Werkzeug“. Sie ist ein wichtiges Teilgebiet der Physik. In der Mechanik unterscheidet man die Ursachen und die Wirkungen von Bewegungen beschreibt ihre Zusammenhänge. Diese Zusammenhänge werden in mathematischer Form formuliert. Die Mechanik unterteilt sich in die **Kinematik** und die **Dynamik**. Die Kinematik beschreibt die Bewegungen eines Gegenstandes, hinsichtlich Entfernung, Geschwindigkeit und Beschleunigung ohne Bezug auf die Masse oder die Kräfte, die die Bewegung bewirken. Die Dynamik ist im Gegensatz zur Kinematik eine erklärende Wissenschaft. Sie beschreibt jene Bewegungen, die auf Grund der einwirkenden Kräfte auf Körperteile entstehen. Die Dynamik unterteilt sich wiederum in 2 Bereiche. Nämlich in die **Statik** (Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte) und in die **Kinetik** (Lehre von Körperbewegungen, welche durch ungleiche Kräfte entstehen).



### 6.1 Kinematische Grundlagen

Es werden unterschiedliche Bewegungsformen und Bewegungsarten von Körpern mittels der physikalischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung beschrieben.

#### 6.1.1 Bezugssysteme

Eine Ortsveränderung kann man nur dann eindeutig feststellen, wenn ein Vergleich zu einem zweiten Körper hergestellt wird. Zum Beispiel können Bobfahrer im Eiskanal ihre Geschwindigkeit nicht abschätzen. Es fehlt ihnen das Bezugssystem. Sie wissen erst wie schnell sie waren, wenn sie auf die Anzeigetafel im Ziel schauen. Außerdem kann eine Person, welche sich einen 100 – Meter – Sprint im Fernsehen ansieht, keinesfalls die Geschwindigkeit der Athleten einschätzen. Er bekommt ausschließlich einen Eindruck von der Lauftechnik. Ein Zuschauer im

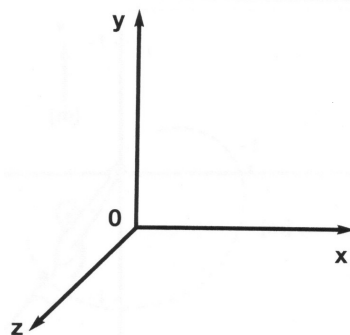


Stadion hingegen, bekommt einen optimalen Eindruck der hohen Geschwindigkeit der Läufer, weil sie die Laufbahn als Bezugssystem wahrnehmen. Ohne einer Definition eines Bezugssystem kommt man im Sport nicht aus. Es muss der Beginn, die Richtung und das Ende der Bewegung bestimmt werden. Im Sport bildet die Erde das Bezugssystem. Man geht jeweils von ruhenden Bezugspunkten aus. Genau genommen ist dies nicht korrekt, weil sich die Erde um ihre eigene Achse dreht und gleichzeitig eine Rotation um die Sonne ausführt. Dies führt dazu, dass alle Bewegungen des Menschen auf der Erde relativ sind.

#### Beispiele für Bezugspunkte:

- Start- und Ziellinie bei Lauf- und Fahrdisziplinen
- Spielfeldlinien bei Spielsportarten
- Startblockkante und Beckenränder beim Schwimmen
- Sprungbalken beim Weitsprung
- Netzkanten beim Tennis
- Reckstange beim Reckturnen

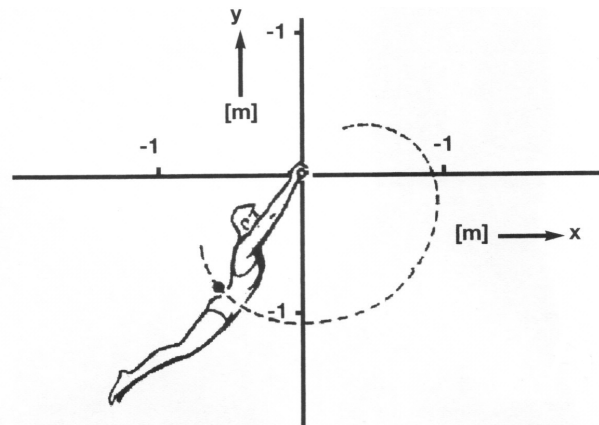
In der Sportwissenschaft bedient man sich dem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem.



Es besteht aus 3 aufeinander normal stehenden Koordinatenachsen (x-, y-, und z-Achse). Der Schnittpunkt dieser Achsen ist der Koordinatennullpunkt, auch genannt Bezugspunkt. Auf Grund von solch einem System lässt sich die Lage eines Punktes bzw. Objektes eindeutig im Raum feststellen. Folgende Zuordnung der Koordinatenachsen werden bei sportlichen Bewegungen vorgeschlagen:

- Horizontal- oder x-Achse in der Hauptbewegungsrichtung und parallel zur Erdoberfläche
- Vertikal- oder y-Achse in Richtung der Erdanziehung und damit senkrecht zur Erdoberfläche
- Quer- oder z-Achse quer zur Hauptbewegungsrichtung und parallel zur Erdoberfläche

Die folgende Graphik zeigt den Bezugspunkt und das Koordinatensystem beim Reckturnen:



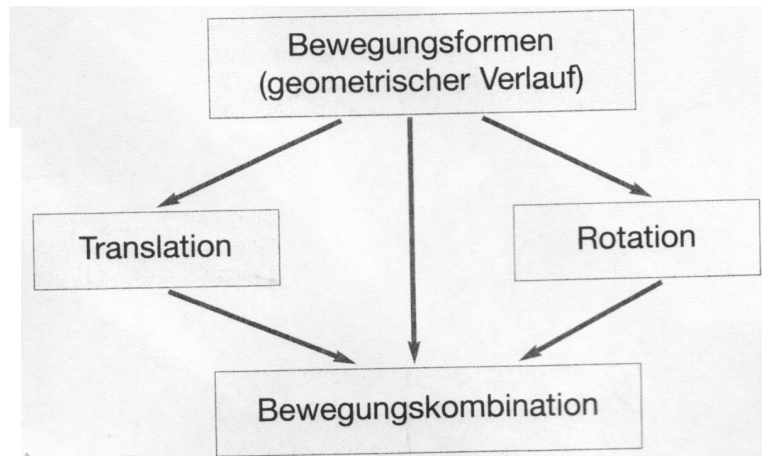
Abschließend ist festzuhalten, dass bei sportlichen Bewegungen je nach Aufgabenstellung ein-, zwei- oder dreidimensionale Analysen notwendig sind.

### 6.1.2 Bewegungsformen

Bei den Bewegungsformen wird unterschieden zwischen *Translation*, *Rotation* und Überlagerung von Translation und Rotation. Translation liegt vor, wenn sich der Körperschwerpunkt horizontal bewegt. Eine Rotation herrscht genau dann, wenn eine Drehbewegung existiert. In den meisten Sportarten ergibt sich eine Überlagerung von Translation und Rotation. Es existieren im Sport nur wenige Ausnahmen, indem sich der menschliche Körper ausschließlich translatorisch oder rotatorisch verhält.

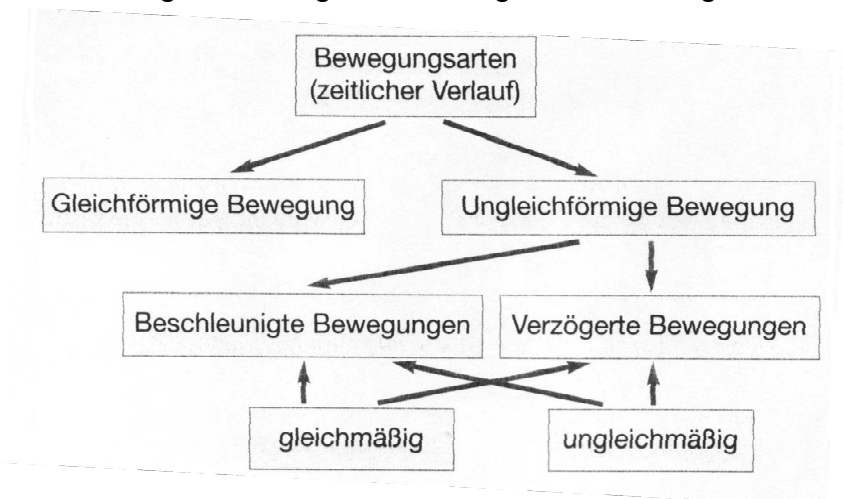
Vergleich zwischen 3 verschiedenen Sportarten:

100-Meter-Sprint	Hüftumschwung am Reck	Rolle vorwärts am Boden
Körperschwerpunkt bewegt sich annähernd horizontal von der Startlinie bis zur Ziellinie.	Alle Körperteile rotieren um die Reckstange.	Der Körper legt einen horizontalen Weg vom Beginn bis zum Ende der Bewegung zurück und dreht sich gleichzeitig um eine Achse.
Translation	Rotation	Überlagerung



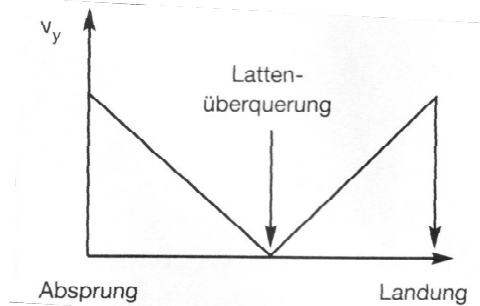
### 6.1.3 Bewegungsarten

Körper können ihre Geschwindigkeit ( $v$ ) im Verlaufe der Zeit beibehalten oder verändern. Diese zwei Möglichkeiten werden als gleichförmig ( $v = \text{konstant}$ ) bzw. ungleichförmig ( $v$  kann ansteigen oder abfallen) charakterisiert. Entscheidend für beide Fälle ist die Beschleunigung ( $a$ ). Bei der gleichförmigen Bewegung ist die Beschleunigung gleich Null, das heißt es existiert keine Beschleunigung. Bei ungleichförmigen Bewegungen hingegen wirken Beschleunigungskräfte, welche auf die Geschwindigkeit eine positive (sie steigt an) oder eine negative (Geschwindigkeit wird geringer) Wirkung haben können. Es wird die positive Wirkung als Beschleunigung und die negative Wirkung als Verzögerung bzw. Abbremsen bezeichnet. Die Beschleunigung bzw. Verzögerung untergliedert sich in eine gleichmäßig und eine ungleichmäßig beschleunigte bzw. verzögerte Bewegung.



Bei einer gleichmäßig beschleunigten und einer verzögerten Bewegung ist der Betrag der Beschleunigung innerhalb der gesamten Zeitdauer der Beschleunigungswirkung konstant. Dieser Fall tritt beispielsweise bei einem fallenden Körper während der Flugphase beim Wirken der Erdbeschleunigung ( $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ ) ein. Ein repräsentatives Beispiel ist ein Hochspringer. Betrachtet man die vertikale Bewegung des Athleten nach dem Absprung, so erfährt der Körper bis zur Lattenüber-

querung durch die Erdbeschleunigung solange eine gleichmäßige Verzögerung, bis die Geschwindigkeit gleich Null ist. Nachdem die Latte überquert wurde, nimmt die Geschwindigkeit des Körpers zu und erreicht kurz vor der Landung ihren Höchstwert. Der Abfall und der Anstieg der Geschwindigkeit erfolgt kontinuierlich.



Dieses Beispiel zählt zu den Ausnahmefällen, denn bei den meisten Bewegungen ist die wirkende Beschleunigung nicht konstant, sondern verändert sich. Sobald die menschliche Muskulatur eingesetzt wird, liegt eine ansteigende oder abfallende Beschleunigung vor.

#### 6.1.4 Kinematische Gesetze bei Translation und Rotation

##### Translation

Durchschnittsgeschwindigkeit:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{(s_2 - s_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (\text{ms}^{-1})$$

Der so ermittelte Geschwindigkeitsbetrag gibt keine Auskunft über das Geschwindigkeitsverhalten des Sportlers innerhalb der Streckenabschnitte.

Durchschnittsbeschleunigung:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{ms}^{-2})$$

##### Rotation

Es sind Rotationen um feste Achsen (Reckstange,...) und Rotationen um fiktive Achsen (Salto,...) zu unterscheiden. In den Gelenken werden mit wenigen Ausnahmen Drehbewegungen durch die Muskelkontraktion erzeugt. Erst die Summe mehrerer Gelenkdrehbewegungen macht es möglich, dass sich der Gesamtkörper geradlinig bewegen kann.

Eine wichtige Besonderheit ist der Winkel  $\varphi$ . Um sich auf die Drehbewegungen zu orientieren, wird die Geschwindigkeit als Winkelgeschwindigkeit ( $\omega$ ) definiert.

Winkelgeschwindigkeit:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (\text{s}^{-1})$$

Umfangs- oder Bahngeschwindigkeit:

$$u = r \cdot \omega \quad (\text{ms}^{-1})$$

### 6.1.5 Kinematische Gesetze für Fall- und Wurfbewegungen

#### Der freie Fall

Beim freien Fall wirkt die konstante Erdbeschleunigung von  $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ . Bewegungen, welche den freien Fall beinhalten (Turmspringen, Abgang vom Reck,...), sind gleichmäßig beschleunigt. Körper die sich im freien Fall befinden, werden kontinuierlich schneller.

Fallhöhe:

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (\text{m})$$

Fallgeschwindigkeit:

$$v = g \cdot t \quad (\text{ms}^{-1}) \quad \text{oder} \quad v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s} \quad (\text{ms}^{-1})$$

Fallzeit:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad (\text{s})$$

#### Der senkrechte Wurf oder Sprung nach oben

Flughöhe

$$s_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (\text{m}) \quad v_0 \dots \text{Absprunggeschwindigkeit}$$

Steigzeit bis zum Umkehrpunkt

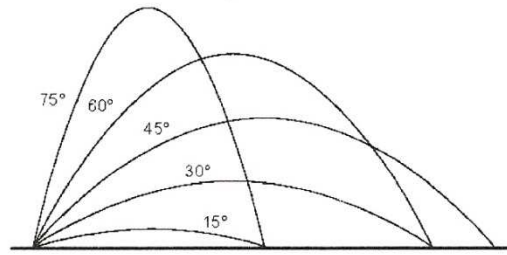
$$t_0 = \frac{v_0}{g} \quad (\text{t})$$

Flugzeit

$$t = \frac{2v_0}{g} \quad (\text{t})$$

## Der schräge Wurf

Der schräge Wurf ist eine Überlagerung von Translation in horizontaler Richtung und der Bewegung, die dem senkrechten Wurf entspricht. Der schräge Wurf ist die am häufigsten auftretende kinematische



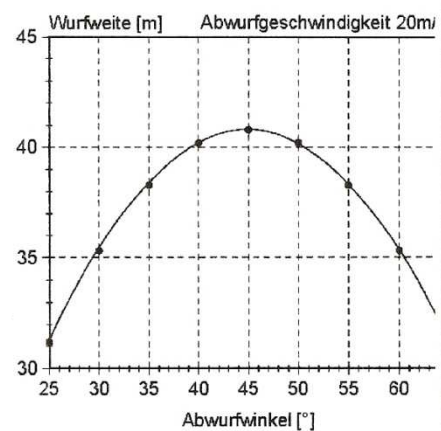
Bewegungsform. Zum Beispiel Kugelstoßen, Weitsprung,... Die Flugkurven entsprechen weitgehend einer Parabel, wenn der Luftwiderstand nicht berücksichtigt wird (luftleerer Raum). Die Form dieser Parabel wird beeinflusst durch den Abwurfwinkel  $\alpha_0$  und der Abwurfgeschwindigkeit  $v_0$ .

$$\text{Flughöhe } h_{\max} = (v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0) / 2g \quad (\text{m})$$

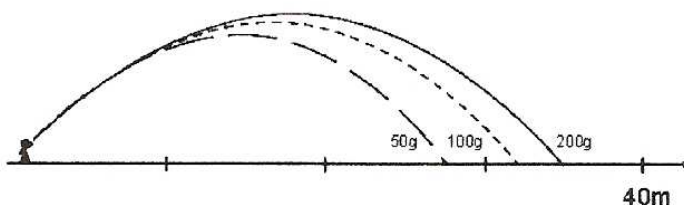
$$\text{Flugweite } x_w = v_0^2 / g \cdot \sin(2\alpha) \quad (\text{m})$$

$$\text{Steig- und Fallzeit } t_w = 2 \cdot v_0 / g \cdot \sin \alpha \quad (\text{s})$$

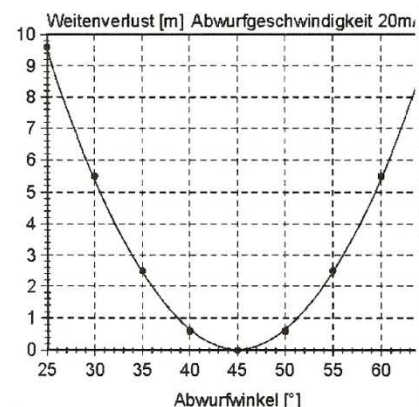
Die maximale Höhe wird bei einem Abwurfwinkel von  $90^\circ$  und die maximale Weite bei einem Abwurfwinkel von  $45^\circ$  erreicht. Dies ist aber nur dann korrekt, wenn sich die Abflughöhe und die Landehöhe auf derselben Ebene befinden.



Folgende Graphik zeigt Würfe mit gleich großen Bällen unterschiedlicher Masse unter einem Winkel von  $45^\circ$ . Man sieht, dass leichtere Bälle stärker durch die Luft abgebremst werden. Das heißt, dass mit Tennisbällen schlechtere Werte erzielt werden würden, als mit Schlagbällen.



Folgende Graphik zeigt die Variation des Abwurfwinkels bei einer Abwurfgeschwindigkeit von 20 m/s (72 km/h).



## 7 DIE BEWEGUNGSGESETZE VON NEWTON

### 7.1 Einleitung

Der englische Naturwissenschaftler Isaac Newton (1643-1727) hat in seinem Werk „Laws of Motions“ (Gesetze der Bewegung) erstmalig den Zusammenhang zwischen der Veränderung des Ruhe- oder Bewegungszustandes von Körpern und deren Ursache, nämlich den wirkenden Kräften beschrieben. In drei Gesetzen, welche eine fundamentale Bedeutung für das Verstehen der Entstehung sowie die Beeinflussung von sportlichen Bewegungen haben.

Allgemein und verkürzt werden diese Gesetze wie folgt genannt:

- das Trägheitsgesetz
- das Beschleunigungsgesetz
- das Gegenwirkungsgesetz

#### 7.1.1 Das Trägheitsgesetz

Die Eigenschaft eines Körpers, seinen Bewegungszustand beizubehalten, wird als Trägheit (Beharrungsvermögen) bezeichnet. Das heißt der Körper übt einen Widerstand gegenüber Änderungen seines Bewegungszustandes aus. Daraus folgt: es müssen Kräfte wirken, wenn der Bewegungszustand eines Körpers verändert werden soll.

*Ein Objekt bleibt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung, solange es nicht durch eine Kraft gezwungen zu wird, seinen Zustand verändern.*  
(Newton)

Beispiele aus dem Sport sind hier zahlreich vertreten: bei allen Sportarten, wo aus einer Startposition gestartet wird (z. B. 100-m-Sprintstart; alle Startaktionen im Schwimmen; Übungsbeginn im Turnen; Sportspiele, die Bewegungen einsetzen). Weitere Beispiele sind Richtungsänderungen, z. B. eine Finte im Fußball; eine höhere Geschwindigkeit wie beispielsweise ein Zwischenspurt im 1500-m-Lauf; das Abbremsen von Bewegungen wie etwa das Landen in der Weitsprunggrube. Alle diese Beispiele haben etwas gemeinsam: es müssen Kräfte wirken, um die Zustandsänderung herbeizuführen.

Aus Beobachtungen und eigenen Erfahrungen ist bekannt, dass das Beharrungsvermögen eines Körpers direkt proportional seiner Masse wirkt. Sehr deutlich kann man das beim Sumoringen erkennen: die Athleten mit den größeren Körpermaßen

sind viel schwerer aus dem Bewegungszustand der Ruhe oder auch aus ihrer Bewegungsrichtung zu bringen. Allerdings haben diese Athleten große Schwierigkeiten, bei einer Körpertäuschung des Gegners die eigene Bewegung zu beherrschen.

Die Masse und damit die Trägheit haben in den verschiedenen Sportarten natürlich einen differenzierten Einfluss auf die Leistung. Immer wenn der Körper über einen längeren Bewegungszeitraum beschleunigt werden muss, z. B. in Ausdauerdisziplinen wie Marathon, Straßenradsport, Klettern tendieren die Körpermassen zu einem *optimalen Minimum*. Jedes überflüssige Gramm Körpermasse fordert zusätzliche Kraft. Bei der Tour de France bewerten die Experten die Chancen Jan Ullrichs auf einen Toursieg immer nach seinem Körpergewicht, das ihrer Meinung nach Auskunft über den Trainingszustand von Ullrich gibt. Bei den Etappen in den Alpen und den Pyrenäen, wirkt nämlich ein zu großes Körpergewicht leistungslimitierend.

Die entgegengesetzte Tendenz ist dagegen beim Rodel- und Bobsport oder in den Wurfdisziplinen der Leichtathletik zu beachten. Bei beiden Wintersportarten ist ein großes Körpergewicht leistungsfördernd, da die Hangabtriebskraft als Teil der Gewichtskraft der Athleten von deren Körpermasse abhängt. Je größer die Masse ist, desto größer ist auch die Hangabtriebskraft, die die Fahrgeschwindigkeit bestimmt. Um eine Chancengleichheit zu gewähren, dürfen leichtere Athleten zusätzliche Gewichte mitnehmen.

Jedoch ist bei allen Sportarten eine Optimierungstendenz sichtbar, da z. B. ein Sumoringer mit 2m Körpergröße und 180 kg niemals Weltmeister werden könnte. Beim Kugelstoßen, Discuswurf oder Hammerwurf bildet zwar die Körpermasse ebenfalls eine Leistungskomponente, allerdings ist sie auch ein limitierender Faktor, denn alle drei Disziplinen werden in einem Wettkampfring mit 2,14m Durchmesser ausgetragen. Zuerst ist die Körpermasse zur Beschleunigung des Gerätes natürlich günstig, aber ebendiese muss auch dann wieder schnell abgebremst werden um den Ring nicht zu verlassen. Genau diese Forderung grenzt die Körpermasse wieder ein. Beim Kugelstoßen wird dieses Problem ganz deutlich an der O`Brian- Technik (Angleittechnik) sichtbar. Der Kugelstoßer gleitet translatorisch in Richtung Stoßauslage und muss nach dem Abstoßen der Kugel relativ schnell seine Bewegung (Trägheit) wieder abbremsen. Günstiger gestaltet sich zwar die Barychnikow-Technik (Drehstoßtechnik), da die zur Beschleunigung der Kugel erzeugte Rotation nach dem Abstoß weitergeführt werden kann (Körper des Athleten pendelt aus), diese Technik wird allerdings nicht immer angewandt, weil sie koordinativ viel schwieriger zu realisieren ist!



Abschließend ist festzuhalten, dass alle Bewegungen im Sport, ob die Bewegungen der Athleten oder der Sportgeräte betrachtet werden, dem Trägheitsgesetz unterliegen.

### 7.1.2 Das Beschleunigungsgesetz

Im zweiten Newton'schen Axiom werden der Zusammenhang und die Abhängigkeit zwischen den mechanischen Größen Kraft (F), Masse (m) und Beschleunigung (a) beschrieben.

*Grundgesetz der Mechanik oder Dynamisches Grundgesetz:*

Die Änderung des Bewegungszustandes ist zur einwirkenden Kraft proportional und geschieht längs der Wirkungslinie der Kraft. ->

$$F = m \cdot a \quad (\text{Kraft} = \text{Masse mal Beschleunigung}) \quad \text{Einheit: N (Newton)}$$

Aus dem Zusammenhang kann die Abhängigkeit der Beschleunigung von den beiden Faktoren Kraft und Masse abgeleitet werden. Die Größe der Beschleunigung ist direkt proportional der Kraft und indirekt proportional der Masse. ->

$$a = F/m \quad (\text{Beschleunigung} = \text{Kraft durch Masse})$$

In dieser Formel steckt das Geheimnis für den bedeutungsvollen Teil des sportlichen Trainings: die Entwicklung der konditionellen Fähigkeiten. In den meisten Sportarten kommt es darauf an, möglichst hohe Beschleunigungen zu erzielen. Dies geht allerdings nicht ohne Kraft und deswegen wird großer Wert auf die Entwicklung der Muskelkraft (spezifische Formen: Maximal-, Schnell-, und Ausdauerkraft) gelegt. Sie bildet einen leistungsbestimmenden Faktor. Aber auch die Masse des Athleten limitiert die Leistung. Eine kleinere Masse beeinflusst die Beschleunigung positiv. Allerdings muss immer die aktive Muskelmasse von einer passiven Masse (Unterhautfettgewebe) unterschieden werden.

Ein leistungsorientiertes Krafttraining führt automatisch zu einer Zunahme der Muskelmasse und somit auch zur Zunahme von Körpermasse. Es werden im Krafttraining aber auch Methoden eingesetzt, die zu einer Steigerung der spezifischen Muskelkraft führen, ohne eine übermäßige Hypertrophie der Muskulatur zu verursachen.

Bisher wurde im Beschleunigungsgesetz nur die Kraft als Ursache von Bewegungen betrachtet. Eine exakte Bestimmung zwischen der Ursache und der Wirkung setzt jedoch auch die Kenntnis über die Dauer der wirkenden Kräfte voraus. Eine Beschleunigung führt zu einer Änderung der Geschwindigkeit.

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

Für das Dynamische Grundgesetz ergibt sich:

$$F = m(v_2 - v_1) / t \text{ oder } F \cdot t = m(v_2 - v_1) \text{ Einheit für Impuls: Ns (Newtonsekunde)}$$

Dieser Zusammenhang wird als Impulsgesetz beschrieben. Das Produkt aus Kraft (F) und Zeit (t) wird als Kraftstoß und das Produkt aus Masse (m) und Geschwindigkeitsänderung ( $v_2 - v_1$ ) als Bewegungsimpuls bezeichnet. Die Maßeinheit für den Impuls ist wie oben schon angeführt die Newtonsekunde (Ns). Auch der Impuls ist eine vektorielle Größe, abgekürzt mit p.

Der Kraftstoß stellt die entscheidende Ursache für mechanische Leistung dar. Da er sich aus zwei mechanischen Größen zusammensetzt, kann er grafisch als Fläche unter dem Funktionsverlauf bestimmt werden. Je größer die Fläche, desto größer ist auch die Geschwindigkeit. Damit ergibt sich eine Optimierungstendenz für diese Impulsfläche. Sie sollte sich der Form eines Rechtecks anpassen (Abb. 4.13 b). Da aber bei den meisten sportlichen Bewegungen die Muskeln die Kraft erzeugen, kann es eine solche ideale Fläche nicht geben. Das Beispiel in Abb. 4.13 a entspricht eher einem durch Muskelkraft erzeugten Impuls. Faktoren für diesen Funktionsverlauf sind u.a die Elastizität der Sehnen und Muskeln, die neuronale Aktivierung, die Variabilität der wirkenden Knochenhebel sowie die Begrenzung der Aktivität der Muskelarbeit.

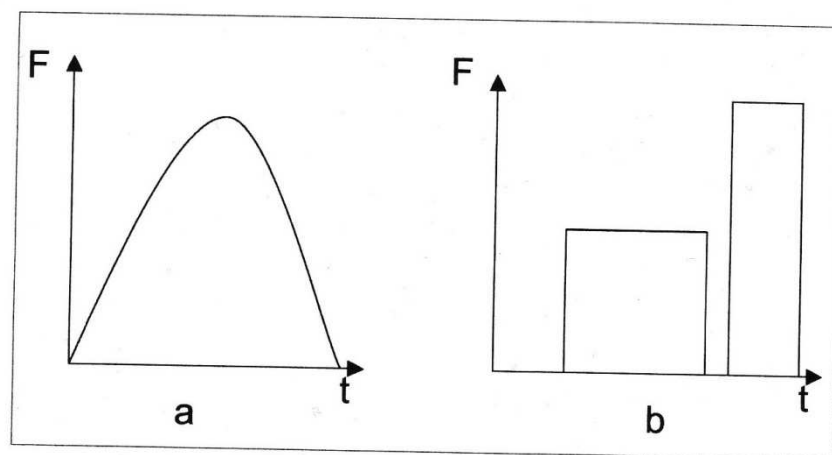


Abb. 4.13:  
Impulsformen I

Für Leistungssteigerungen im Sport ergeben sich aus diesem mechanischen Gesetz folgende Orientierungen:

- Vergrößerung der einwirkenden Kräfte (sowohl im absoluten Betrag als auch in der durch die entsprechende Technik der Disziplin geforderten Richtung)
- Vergrößerung der Zeitdauer für die einwirkende Kraft (insbesondere Techniktraining). Die Zeit kann nur vergrößert werden, wenn sich der Beschleunigung

nigungsweg verlängert. Beispiel: Drehstoßtechnik beim Kugelstoßen. Durch die Drehungen kann der Beschleunigungsweg gegenüber der Angleittechnik vergrößert werden. Allerdings ist wie schon erwähnt der koordinative Anspruch viel höher.

- Verringerung der Masse gehört auch weiterhin dazu

Für die Gestaltung der Impulsflächen müssen die Anforderungen der einzelnen Sportarten beachtet werden: So sollten Impulse für die Schnellkraftsportarten der Leichtathletik (Sprünge, Würfe, Stöße) maximiert werden. Für Ausdauersportarten (Schwimmen 800-m oder 1500-m; Mittel- und Langstrecken der Leichtathletik) ist eher eine Optimierungstendenz gefordert.

Abschließend muss beim zweiten Newton'schen Axiom auf die Tatsache verwiesen werden, dass meistens nicht nur ein Impuls erzeugt wird, sondern zwei oder mehr. Diese Kraftstöße müssen entsprechend der technischen Zielstellung zeitlich und räumlich koordiniert werden.

### 7.1.3 Das Gegenwirkungsgesetz

Um eine Bewegung des Körpers zu erzeugen, ist ein zweiter Körper erforderlich. Ein einzelner Körper kann seinen Bewegungszustand nicht allein verändern, auch wenn er aus vielen Teilkörpern besteht, die bei vielen Lebewesen gelenkig miteinander verbunden sind. Ein simples Beispiel: Ein Weitspringer kann in der Flugphase drei Laufschriffe mit gleichzeitigen Rotationen der Arme durchführen, diese Aktionen verlängern die Flugphase aber nicht und können auch die Richtung nicht beeinflussen. Der Springer bewegt sich in einem zweiten Körper, der Luft. Nur sind die Fluggeschwindigkeit und die Dichte der Luft so gering, dass es kaum zu einer wirksamen Wechselwirkung kommt. Beim Absprung vom Balken wirkt der Körper des Springers mit seinen Muskelkräften auf den Balken und damit auf die Erde, die ihrerseits mit einer Kraft auf den Sportler zurückwirkt. Den Absprung des Sportlers kann man gut erkennen, aber die Reaktion der Erde aufgrund ihrer enormen Masse gar nicht.

Aus ähnlichen Beobachtungen hat Newton sein drittes Axiom, das Gegenwirkungsgesetz „*actio et reactio*“ abgeleitet:

*Zu einer Wirkung besteht immer eine entgegengesetzt gerichtete und gleiche Gegenwirkung.* Es kann auch formuliert werden: *Die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets gleich groß und von entgegengesetzter Richtung.*

*Kassat* diskutiert dieses Phänomen und weist auf wesentliche Konsequenzen im Zusammenhang mit der Anwendung dieses hin.

- Kräfte sind weder aktiv noch passiv.
- überall müssen Kräfte und Gegenkräfte als Paar beachtet werden. Sie sind gleich groß und entgegengesetzt.
- unabdingbar für Kraft und Gegenkraft sind zwei Körper.

Die mathematische Gleichung für das Gegenwirkungsgesetz kann wie folgt formuliert werden:

$$m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2$$

Wirken zwei Körper aufeinander, so werden die Aktion und die Reaktion in Abhängigkeit von den Massen beider Körper bestimmt, das heißt, die jeweiligen Beschleunigungen verhalten sich umgekehrt proportional zu den Massen.

Ein gutes Beispiel ist ein Ko- Schlag im Boxen: der Angreifer legt die gesamte Rumpfmasse hinter den Schlag. Dadurch werden etwa 60 bis 70 Prozent der Körpermasse des Angreifers wirksam und treffen auf den Kopf des Gegners, der nur ca. 7 Prozent der Körpermasse ausmacht. Bei der kleinsten Bewegung des Kopfes führt der Schlag zu einer 10fachen Beschleunigung des Kopfes. Die Folgen sind dramatisch: Black-out, Gehirnerschütterung bis hin zu Gehirnblutungen! Aus diesen mechanischen Tatsachen wurde beim Amateurboxen ein Kopfschutz Pflicht. Auch die Gewichtsklassen in den Zweikampfsportarten, beim Gewichtheben und sogar beim Rudern können so erklärt werden.

Aus dem Gegenwirkungsgesetz leitet sich logisch der *Impulserhaltungssatz* ab. Beispiel: Billiard. Die weiße Kugel wird gegen eine andere gestoßen, woraufhin sie einen Teil der Geschwindigkeit abgibt. Beide Kugeln rollen weiter, die weiße mit genau der reduzierten Geschwindigkeit, die jetzt die zweite hat. Wenn beide Kugelmassen genau identisch sind, müssten auch die Geschwindigkeitsbeträge gleich groß sein!

$$m_1 \cdot v_1 + (-m_2 \cdot v_2) = 0$$

*Der Gesamtimpuls eines geschlossenen Systems bleibt immer konstant.*

Der Körper des Menschen ist ebenfalls ein geschlossenes System. Die Bewegungen von Armen und Beinen beim Laufen gleichen sich jeweils so aus, dass es beim Abstoß von der Erde zu keiner Drehbewegung kommt. Noch deutlicher bei Weit- und Hochsprung: Bei Bewegungen des Oberkörpers und der Arme, müssen die Beine eine entgegen gerichtete Bewegung ausführen ( Weitsprung: Klapp-

messerposition, Hochsprung: Brückenposition während Lattenüberquerung und anschließende L-Position).

## **7.2 Hilfsbegriffe der Mechanik**

Sport und sportliche Bewegungshandlungen haben sich kulturhistorisch aus dem Arbeitsprozess entwickelt. Sie werden mit Leistung und Zielstellungen verbunden. Das Laufen eines Marathons erfordert eine große Energie. Die drei Begriffe Arbeit, Leistung und Energie werden umgangssprachlich oft und gerne in einem breiten Feld verwendet. In den folgenden Kapiteln werden die mechanischen Grundlagen dargestellt und ihr Bezug zum Sport hergestellt.

### **7.2.1 Arbeit**

„Das war eine schwere Arbeit“, stöhnt Gernot Krimberger nach Abschluss der Lernzielkontrolle in Biomechanik. Was das Arbeit? Hier wird von bekanntlich schwer zu definierender geistiger Arbeit gesprochen. Eindeutiger verhält es sich bei mechanischer Arbeit. Sie ist das Produkt aus Kraft und Weg, wobei die Kraft und der Weg gleichgerichtet sind, das heißt ihre Richtungen müssen ident sein.

In den meisten Sportarten bewegen sich Sportler oder Sportgeräte, das heißt Kräfte wirken und ein Weg muss zurückgelegt werden-> im Sport wird zunächst mechanische Arbeit geleistet. Die Arbeit wird in der Mechanik mit  $W$  abgekürzt (engl.= **work**).

$$W = F \cdot s \quad \text{Einheit: Joule oder Nm (Newtonmeter)}$$

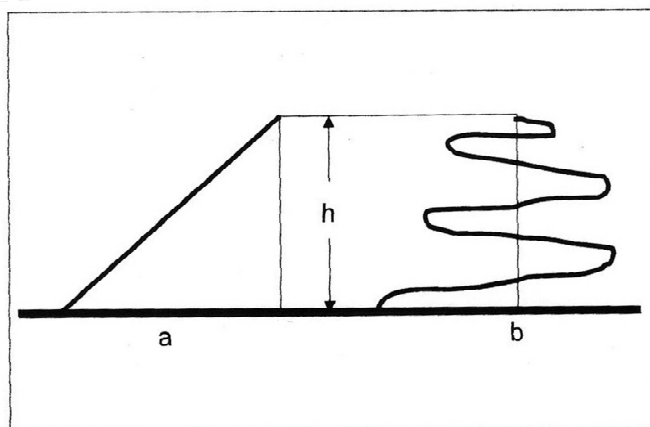
Einheit der Arbeit ist ein Joule. Wie beim Drehmoment ergibt das Produkt aus Kraft und Weg als Einheit ebenfalls das Newtonmeter (Nm). Beide dürfen jedoch nicht als gleiche Größen betrachtet werden!!!

Mit der einfachen Formel kann aber nur gearbeitet werden, wenn die Kraft konstant ist und in Richtung des Weges wirkt. Dieser Fall trifft bis auf wenige Ausnahmen für sportliche Bewegungen nicht zu, weil in vielen sportlichen Disziplinen die Techniken so definiert sind, dass die eingesetzten Muskelkräfte möglichst zu 100% in Richtung des Beschleunigungsweges wirken sollen (z. B Canadierfahren, Speerwurf, Bobfahren). Jeder Kraftbetrag der nicht in die Beschleunigungsrichtung wirkt, geht dem Arbeitsbetrag verloren.

In manchen Sportarten allerdings werden *Zwangsbewegungen* vorgegeben, so z. B beim Rudern. Durch die Dolle werden die Ruder in eine Drehbewegung gezwungen. Man spricht von einem optimalen Ruderwinkelbereich von 70 bis 110°.

*Dobner* und *Perry* unterscheiden weitere Formen der mechanischen Arbeit. Sie nennen die **Hubarbeit** als Arbeit, die entsteht, wenn ein Objekt mit der Gewichtskraft  $FG$  um die Höhe  $h$  angehoben wird. Diese Arbeit ist klassisch für den Sport: Gewichtheben, Bankdrücken oder Bergfahren im Straßenradsport usw. Entscheidend sind jeweils die Gewichtskraft  $G$  und die Höhe  $h$ , die überwunden wird.

Ob ein Bergsteiger den geradlinigen Weg zur Spitze geht oder Serpentinaugen nutzt, in beiden Fällen ist die verrichtete Arbeit gleich groß, obwohl er im Fall *b*, einen deutlich längeren Weg zurücklegt. Dafür spart er im Fall *b* jedoch deutlich an Kraft.



**Abb. 4.17:** Gleiche Arbeit trotz unterschiedlicher Wege

An diesem Beispiel zeigt sich die *Goldene Regel der Mechanik*:

*Was man an Kraft einspart muss man an Weg zurücklegen.*

Eine weitere Variante ist die **Verformungsarbeit**. Im Sport u.a. beim Expander: durch die einwirkende Kraft werden die Federn verlängert. Eine Kraft wirkt also auf einen Weg. Formel:  $W(\text{Verform}) = \frac{1}{2} \cdot F(E) \cdot s$

Des Weiteren zählen **Beschleunigungsarbeit** (bei allen Bewegungsformen, sie ist die grundlegende Form und schließt die Reibungsarbeit mit ein) und **Reibungsarbeit** (Gleit- und Rollreibung sind Bewegungserscheinungen, da der Körper gleichzeitig beschleunigt wird) als Varianten. Eine eindeutige Abgrenzung dieser beiden ist jedoch schwierig.

**Muskelarbeit** ist ein Begriff, der in der Physiologie häufig benutzt wird. Hier werden drei Formen der Muskelspannung unterschieden (statische oder isometrische Arbeit, die *dynamisch-positive* oder *konzentrische* sowie die *dynamisch-negative* oder *exzentrische Arbeit*) wobei nur die beiden letztgenannten im Sinne der Mechanik als Arbeit definiert werden können.

Für die Bewertung von sportlichen Bewegungshandlungen sollte die mechanische Arbeit nicht außer Acht gelassen werden. Z. B im Sportunterricht: Klimmzüge und Kniebeugen sind auf Grund der verschiedenen Körpergewichte mit Vorsicht zu bewerten, da ja alle bei gleicher Wiederholungszahl unterschiedliche Arbeitswerte aufweisen.

### 7.2.2 Leistung

In der sportlichen Praxis steht die Leistung, im Gegensatz zur Arbeit, im Vordergrund. Allen Siegern wird eine größere Leistung unterstellt, obwohl z. B beim Stabhochsprung 6m Höhe zwar eine gute sportliche Leistung ist, aber im mechanischen Sinn eigentlich *nur* eine sehr gute *Hubarbeit* des Athleten. Das heißt, dass der Leistungsbegriff nicht immer dem mechanischen Leistungswerten entspricht. Ausnahme: Sportarten in denen es um Zeitminimierung geht!

In Zweikampfsportarten und Disziplinen, in denen Zeit keine Rolle spielt, ist die sportliche Leistung nicht ident mit der mechanischen.

Die *mechanische Leistung P* (engl.: **power**) ist der Quotient aus der Arbeit (W) und der Zeit (t).

$$P = W/t = F \cdot s/t = F \cdot v \quad (\text{Nm/s} = \text{Watt}) \quad W_H = m \cdot g \cdot h$$

Nehmen wir nochmal das Beispiel der beiden Bergsteiger her: Beide MÜSSEN das gleiche Gewicht haben! Der Sportler, der den geraden Aufstieg gewählt hat, hat bei gleicher Arbeit, eine höhere mechanische Leistung vollbracht.

$$P_1 = 800\text{N} \cdot 200\text{m} / 3600\text{s} = 44,44 \text{ Watt} \quad P_2 = 800\text{N} \cdot 200\text{m} / 4200\text{s} = 38,1 \text{ Watt}$$

Der Leistungsunterschied beträgt 6, 34 Watt (bei gleicher Arbeit!)

Leistung kommt im Sport besonders deutlich bei der Arbeit mit Ergometern zur Geltung. In der Tabelle 4.2 sind die durchschnittlichen Leistungswerte beim Einsatz verschiedener Sportgeräte aufgeführt.

Übungsgerät	Parameter	Leistung
Fahrrad	9 km/h	20 W
	15 km/h	120 W
Laufband	5 km/h	60 W
	7 km/h	200 W
Stepper	300 m/15 min	234 W

**Tab. 4.2:** Ergometerleistungen eines 70 kg schweren Probanden (nach Dobner und Perry 2001, S. 136)

Beeindruckendes Beispiel: 2004 hat der Sieger der Tour de France, Lance Armstrong, 1000 Höhenmeter auf einer Strecke von 55km in 1:06h bewältigt -> 400W über eine Stunde ausgehalten!!! Der Durchschnittsmensch fährt zwischen 150 und 200 Watt und ist nach 12 Minuten völlig ausgepowert!!!

Bsp.: Bei der Tour de France wird der Alpenpass Col d'Iseran mit einer Seehöhe von 2650 m überquert. Ein Radfahrer hat die Masse von 60 kg.sowie ein Fahrrad mit 8kg.

- a) Welche Arbeit erbringt ein Radsportler, wenn er vom Tal (Seehöhe 600 m) auf den Pass fährt (Luft- und Rollreibung vernachlässigt). Lösung: 1,37 MJ
- b) Die Leistung eines sehr guten Sportlers ist etwa 150 W. Wie lange braucht er für die Bergfahrt? (Lösung: ca. 2,5h)
- c)

### 7.2.3 Energie

Energie ist eng mit der mechanischen Arbeit verbunden. Wird z. B ein Gegenstand mit dem Gewicht  $G$  um eine Höhe  $h$  angehoben wurde die Hubarbeit  $W$  ( $W_{\text{Hub}} = G \cdot h$ ) verrichtet. Diese geleistete Arbeit geht nicht verloren, sondern ist in Form von *potentieller Energie* im Körper gespeichert. Der Körper kann diese Energie wieder zurückgeben, indem man den Gegenstand wieder loslässt und er dann wieder nach unten fällt. Die potenzielle Energie entspricht somit der zum Heben geleisteten Arbeit ( sie ist ein Maß für die Hubarbeit ).

Die mechanische Energie (engl.: **energy**) wird mit  $E$  abgekürzt. Die potenzielle Energie wird nach folgender Formel berechnet:

$$E (\text{pot}) = G \cdot h \quad (\text{Einheit: Nm} = \text{Joule})$$

Werden Körper nur horizontal verschoben, ändert sich der Wert der potentiellen Energie nicht!

Auch ein sich bewegendes Körper besitzt Energie. Um in Bewegung zu geraten muss Arbeit verrichtet werden und diese bleibt als Bewegungsenergie oder *kinetische Energie* erhalten -> wird ein Körper der Masse  $m$  mit einer Geschwindigkeit  $v$  bewegt, so besitzt er kinetische Energie  $E$  (kin), die wie folgt berechnet wird:

$$E(\text{kin}) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (\text{Einhalb mal Masse mal Beschleunigung zum Quadrat})$$

Zwei Faktoren beeinflussen den Betrag der kinetischen Energie:

- die Masse eines Körpers



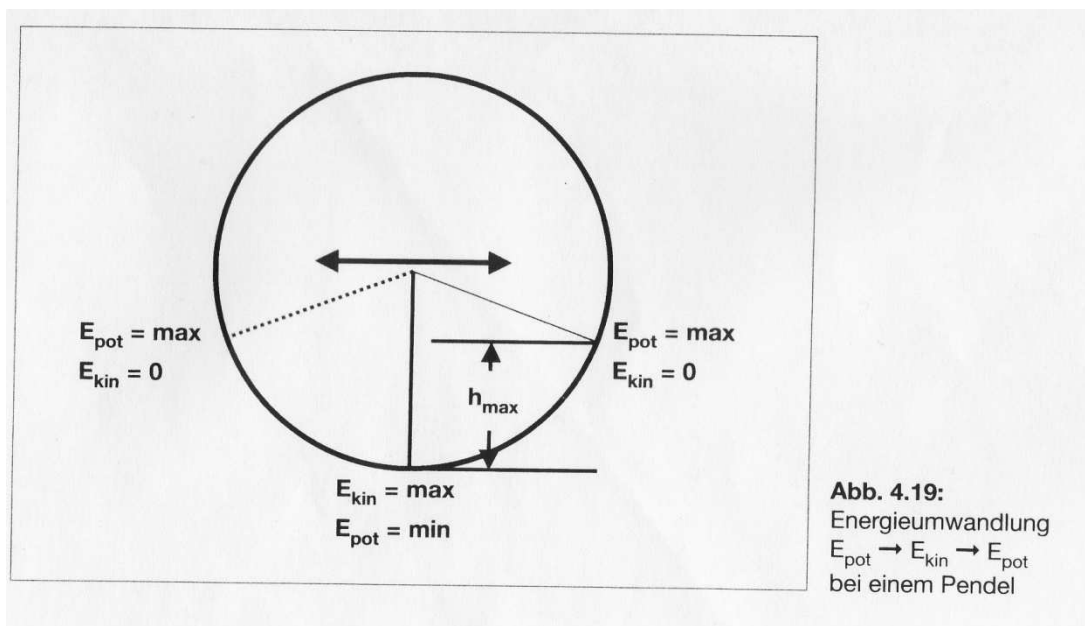
- die Bewegungsgeschwindigkeit

Bsp: ein Ball mit einer kleinen Masse von 500g und einer Abfluggeschwindigkeit von 100 km/h besitzt in etwa den gleichen Energiebetrag wie ein Sprinter mit 76kg, der sich mit 8km/h bewegt (Ball: 2500 Joule, Sprinter 2440 Joule).

### 7.3 Energieerhaltungssatz

Vorher wurden zwei Arten der mechanischen Energie vorgestellt, die eng miteinander verbunden sind. Bevor ein Körper seine Lage in Bezug zum Erdmittelpunkt verändern kann, muss er bewegt werden. Kommt er wieder zurück zur Ausgangslage bewegt er sich erneut. Diese Tatsache mündet in das *Energieerhaltungssatz*. Dieser ist eine wichtige mechanische Tatsache: in abgeschlossenen Systemen wandeln sich die verschiedenen Energieformen ineinander um. Energie kann nicht verloren gehen und kann auch nicht neu hinzukommen. Neben den beiden mechanischen Energieformen sind noch die Elektro-, Licht-, Strahlungs-, Schall-, Wärme- und chemische Energie bekannt.

Als praktisches Beispiel soll das Pendelschwingen am Hochreck herangezogen werden. Aus der Hangposition wird der Körper nach vorn-oben beschleunigt und pendelt dann nach hinten-oben. Das geht solange bis die von Muskelkraft erzeugte Energie sich in Reibung und Wärme umgewandelt hat-> Körper wieder in Hangposition.



Energieerhaltungssatz:

$$E(\text{pot}) + E(\text{kin}) + E(\text{Wärme}) = \text{constant}$$

Eine ausgeglichene Energiebilanz für sportliche Tätigkeiten ist von großer Bedeutung. Ist der Energieverbrauch der Muskulatur zu groß (z. B. bei Ultraausdauersportarten) kommt es zu einem Abbruch der Muskelarbeit (Hungerast). Der menschliche Körper braucht ständig Energie, da die Lebensfunktionen nur funktionieren, wenn die nötigen Energien in Form von chemischen Verbindungen vorhanden sind. Der aktive Muskel verbrennt einen beträchtlichen Teil der durch die Nahrung aufgenommenen Energie. Die mechanische Arbeit der Muskeln (sichtbar in Bewegungen) beruht auf biochemischen Prozessen in den Muskeln!

Wichtig! Merke:

- Alle Bewegungen von Sportlern sind durch die Verrichtung von Arbeit bestimmt.
- Arbeit ist eine zeitunabhängige Größe. Pausen beeinflussen das Ergebnis nicht und sind auch nicht erkennbar!
- Durch die Arbeit verändert sich der Zustand oder die Lage von Körpern (Beschleunigung, Gestalt- oder Formänderung).
- Arbeit ist das Produkt aus Kraft und Weg.
- Arbeit wird an einem Körper oder Objekt verrichtet.
- Leistung= wie viel mechanische Arbeit wird pro Zeit verrichtet -> hohe sportliche Leistung muss nicht einer hohen mechanischen Leistung entsprechen!
- Energie definiert die an einem Körper geleistete Arbeit. Arbeit und Energie haben die gleiche Einheit (Joule). Sie dürfen aber nicht verwechselt werden. Wird an einem Körper Arbeit verrichtet-> ändert sich sein Energiezustand-> Energie wird gespeichert und, wenn sie freigesetzt wird, kann sie wieder Arbeit leisten.
- Energie kann nicht verloren gehen und auch nicht aus dem Nichts entstehen. Sie kann nur von einem Körper auf den anderen übertragen werden oder aus einer in eine andere Energieform umgewandelt werden.

## 8 GRUNDLAGEN DER DYNAMIK

Die Dynamik wird vereinfacht als die Lehre der wirkenden Kräfte bezeichnet. Jede Bewegung bedarf einer Kraft als Ursache.

### 8.1 Kräfte als Ursache von Bewegungen

Für die Beschreibung von Bewegungen ist der Kraftbegriff von grundlegender Bedeutung. In der Ursache – Wirkungs – Beziehung werden zwei Wirkungen der Kraft unterschieden:

- die *verformende* und
- die *beschleunigende* Wirkung.

#### 8.1.1 Beschleunigende Kraftwirkung

Die beschleunigende Wirkung wird nochmals in zwei Richtungen unterteilt. So führen *beschleunigende Kraftwirkungen* entweder zur Veränderung der Geschwindigkeit (Zunahme oder Reduzierung) oder zu einer Richtungsänderung.

#### 8.1.2 Verformende Kraftwirkung

Die *verformende Wirkung* ist im Zustand der Ruhe zu erkennen, wenn zwei oder mehrere Körper aufeinander wirken. Es entstehen Spannungen und Deformationen. Spannungen werden erst bei der Auflösung dieses Gleichgewichtszustandes der Kräfte deutlich. (Bsp: Gespannter Bogen beim Bogenschießen)

Deformationen sind bei der Wechselwirkung von Körpern erkennbar. (Bsp: Durchbiegen der Barrenholme beim Handstand eines Turners auf dem Parallelbarren)

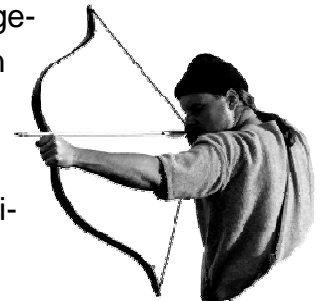
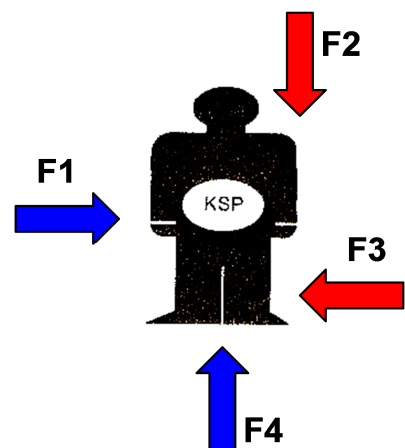


Abb.: <http://www.roemischer-vicus.de>

### 8.2 Kräfte und ihre Wirkungen

#### 8.2.1 Arten von Bewegungsänderungen

Einwirkende Kräfte führen bei frei beweglichen Körpern zu einer Bewegungsänderung. Hierbei sind zwei Varianten zu differenzieren. Ist die Wirkungslinie der Kraft genau auf den Körperschwerpunkt gerichtet (**F1** und **F4**), wird sich der Körper geradlinig (translatorisch) bewegen.



Trifft die Kraft jedoch außerhalb des Körperschwer-

punktes auf den Körper (**F2** und **F3**), kann eine Rotation eintreten.

Bei Veränderungen des Bewegungszustandes von Körpern, liegt immer das Wirken von mindestens einer Kraft (mit entsprechender Gegenkraft) vor.

### 8.2.2 Arten der Kräfte

Der Körper der Sportler ist Gegenstand analytischer Betrachtungen. In der Wechselwirkung mit seiner Umwelt und den unterschiedlichen Sportgeräten ist eine Reihe von Kräften zu berücksichtigen. Generell spricht man von zwei Gruppen der wirkenden Kräfte:

1. die äußeren Kräfte
2. die inneren Kräfte

*Äußere Kräfte* sind jene Kräfte, die von außen auf den Körper des Sportlers wirken. Sie können sowohl eine die Bewegung unterstützende (positive) als auch eine die Bewegung behindernde (negative) Wirkung aufweisen.

*Innere Kräfte* entstehen im Körper des Athleten. Die Muskelzugkraft nimmt eine dominierende Position ein. Einige Kräfte treten sowohl als äußere wie auch als innere Kräfte auf.

#### 8.2.2.1 Die äußeren Kräfte

- *Widerstandskräfte*

Widerstandskräfte werden als Flächenkräfte bei Bewegungen des Sportlers in Luft und im Wasser wirksam. Sie sind von vielen Faktoren abhängig. Dazu zählen die Anstromfläche, der Widerstandsbeiwert, die Dichte des Mediums und die Strömungsgeschwindigkeit (bei sportlichen Aktivitäten ist es vorwiegend die Bewegungsgeschwindigkeit).

- *Reibungskräfte*

Reibungskräfte entstehen, wenn zwei Körper sich berühren, eine gemeinsame Kontaktfläche haben und dabei Bewegungen entstehen. Es können drei Formen von Reibungen auftreten: die *Haft-*, die *Gleit-* und die *Rollreibung*. Die Stärke nimmt in der aufgezählten Reihenfolge ab. Im Sport versucht man diese Kräfte zu beeinflussen. Zum einen wird die Haftreibung gesteigert (z.B. durch Spikes in der Leichtathletik, durch Stollen bei Fußballschuhen oder dem Harz für die Hände beim Handball), zum anderen wird die Gleit- und Rollreibung minimiert (z.B. durch

das Wachsen der Skier und Snowboards, das Ölen von Rolllagern beim Rudern usw.). Es kann aber auch sein, dass beide Tendenzen gleichzeitig zu beachten sind (z.B. bei der Diagonaltechnik beim Skilanglauf oder beim Gerätturnen an Reck, Barren oder Ringen). Hier gibt es Phasen, die eine optimale Haftreibung voraussetzen, und Phasen, die eine möglichst geringe Gleitreibung verlangen.

Zwei Faktoren bestimmen die Beträge der Reibungskräfte: die *Normalkraft* und der *Reibungskoeffizient* ( $\mu$ ). Die Normalkraft wirkt in einem Winkel von  $90^\circ$  auf die Kontaktfläche. Der Reibungskoeffizient wird experimentell durch Schleppversuche von Körpern mit unterschiedlichen Oberflächenmaterialien bestimmt. Hieraus wird ersichtlich, dass die Größe der Kontaktfläche keinen Einfluss auf den Betrag der Reibungskräfte hat!

Die Reibungskraft berechnet sich wie folgt:  $F_R = \mu \cdot F_N$  (N)

Ist der Betrag von  $\mu = 0$ , gibt es keine Reibung. Je größer der Reibungskoeffizient ist, desto stärker sind die sich berührenden Flächen miteinander verzahnt.

- *Bodenwiderstandskraft (Bodenreaktionskraft, Stützreaktion)*

Diese Kraft entsteht, wenn ein ruhender oder sich im Stütz befindender bewegter Körper (Stützphase beim Laufen) in Wechselwirkung mit der Erde steht. Sie ist der Größe nach gleich der Kraft, mit der ein Körper auf den stütz wirkt und dieser Kraft entgegengerichtet ist. Sie korrespondiert unter statischen Bedingungen meistens mit der Gewichtskraft eines Körpers, kann aber auch andere Beträge annehmen, insbesondere wenn dynamische Vorgänge betrachtet werden. So kann bei einem Streck sprung die Bodenreaktionskraft größer sein als das Körpergewicht. An einem Skihang dagegen wirkt nur ein Teil der Gewichtskraft als senkrechte Komponente (Normalkraft). Daher ist die Bodenwiderstandskraft auch kleiner als die Gewichtskraft. Dadurch, dass die Wirkungslinie der Kraft variiert und bei sportlichen Bewegungen meistens am Körperschwerpunkt vorbeiführt, kann es zu einer Drehbewegung kommen, die bei Saltos und Schrauben ausgenützt wird.

- *Trägheitskräfte*

Trägheitskräfte von Sportgeräten, anderen Sportlern und auch Teilen des eigenen Körpers, die auf den sich bewegenden Athleten wirken, werden als fiktive oder Scheinkräfte bezeichnet.

- *Schwerkraft (Gewichtskraft oder Erdanziehungskraft)*

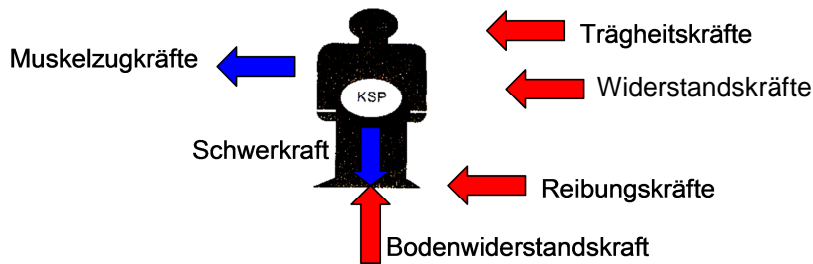
Diese äußere Kraft wirkt ständig auf Sportler und Sportgeräte und ist zum Erdmittelpunkt gerichtet. Ihrer Wirkung wird hauptsächlich bei Bewegungen mit Flugphasen sichtbar (Hoch-, Weitsprung, Kugelstoßen). Ohne diese Kraft würden die Springer oder die Kugel geradlinig weiterfliegen. Diese Kraft ist abhängig von den Massen der beteiligten Körper. Häufig werden die beiden Begriffe Masse und Gewicht synonym verwendet. Die Masse ist jedoch eine skalare Größe und beschreibt die Stoffmenge eines Körpers und ist ortsunabhängig. Ob man sich auf der Erde oder im Weltraum befindet, die Masse bleibt immer konstant. Die Gewichtskraft verändert sich mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt. Die Maßeinheit für die Masse ist das *Kilo-Gramm (kg)* und für die Gewichtskraft das *Newton (N)*. Die Masse eines Körpers korrespondiert mit dem Volumen und seiner Dichte. Eine größere Dichte bei gleichem Volumen bedeutet eine höhere Masse des Körpers. Im Schwimmsport hat die Körperdichte eine leistungsbeeinflussende Bedeutung. Durchschnittlich beträgt die Dichte des menschlichen Körpers 1,03 kg je m<sup>3</sup>. Damit ist der durchschnittliche Mensch um 0,03 kg je m<sup>3</sup> dichter als das Wasser und würde im Wasser sinken. Auch auf der Erde ist die Schwerkraft an verschiedenen Orten nicht gleich. Sie ist abhängig von der Entfernung vom Erdmittelpunkt. Am Äquator oder auf hohen Bergen ist die Schwerkraft kleiner.

#### 8.2.2.2 *Die inneren Kräfte*

Im Unterschied zu den äußeren Kräften, entstehen diese Kräfte innerhalb des menschlichen Körpers. Diese Kräfte sind nicht in der Lage, den Körper zu beschleunigen, wenn nicht wenigstens eine passive äußere Kraft (anderer Körper) hinzukommt. Die Bewegung der Teilmglieder des Körpers können sie jedoch in bestimmten Grenzen verändern oder erzeugen. Man unterscheidet drei Gruppen von inneren Kräften des menschlichen Körpers:

- *Muskelzugkräfte*

Hierbei handelt es sich um die durch Muskelkontraktionen hervorgerufenen Spannungs- und Längenänderungen der beteiligten Muskeln, die entweder Bewegungen der Gliedmaßen und in der Summe des gesamten Körpers erzeugen bzw. abbremsen oder „Haltearbeit“ leisten. Dabei wird aus chemischer Energie mechanische Arbeit erzeugt. Der Muskel ist nur in der Lage eine Zugspannung zu entwickeln, die über Sehnen auf das Knochensystem übertragen wird und in den beteiligten Gelenken Rotationen initiieren.



- *Weitere innere Kräfte*

Diese oben angeführte „aktive“ innere Kraft wird durch weitere innere Kräfte in ihrer Wirkung reduziert. Dazu zählen die *Reibungskräfte* in den Gelenken und zwischen den einzelnen Geweben, die *Trägheitskräfte* der zu bewegenden Körperteile, der *Fließwiderstand* (Viskosität) der Gewebe und die *Elastizität*. Die Elastizität ist die resultierende Kraft, die durch wirkende Kräfte im beteiligten elastischen Material zu einer Verformung führt und dabei potentielle Energie speichert.

### 8.3 Gesetze bei Drehbewegungen

Wann und wie entstehen Drehbewegungen im Sport?

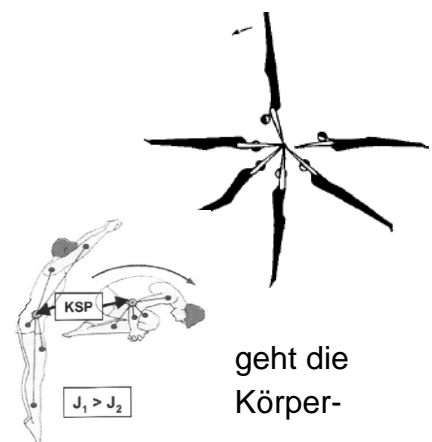
Wie werden Drehbewegungen gesteuert?

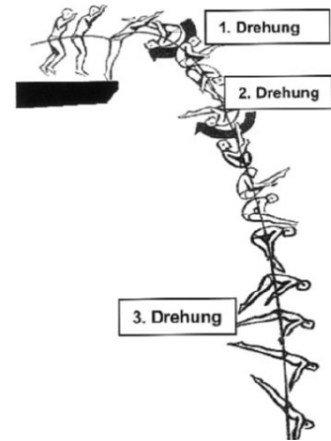
#### 8.3.1 Einteilung von Drehbewegungen

Drehbewegungen lassen sich aufgrund ihrer verschiedenartigen mechanischen Bedingungen wie folgt einteilen:

Drehbewegungen um

- Feste Achsen (Riesenfelge
- Momentane (feste) Achsen
- Übergang von fester zu freier Achse
- Bei **Drehbewegungen um feste Achsen** befindet sich der rotierende Körperschwerpunkt des rotierenden Körpers NICHT auf der Drehachse. (Bsp.: Riesenfelge am Reck)
- Bei **Drehbewegungen um freie Achsen** Drehachse DURCH den schwerpunkt. (Bsp.: Salto;)
- **Übergang von fester zu freier Drehachse:** Bsp.: Felgumschwung mit Salto als Abgang





- **Erde-Sportler-Schwerkraft,**

es wird davon ausgegangen, dass sich der Sportler immer im Schwerfeld der Erde befindet und somit eine Überlagerung durch geradlinige Bewegungswirkung auf die Rotation stattfindet.

### 8.3.2 Entstehung von Drehbewegungen

Drehbewegungen eines Körpers entstehen durch eine an dem Körper exzentrisch wirkende Kraft. Das Drehmoment!

Die Voraussetzungen für eine Drehbewegung sind: Der Körper muss frei beweglich sein, eine Drehachse muss vorhanden sein und ein Drehmoment muss wirken.

Das Drehmoment  $M$  ist das Produkt aus der Kraft  $F$  und dem senkrechten Abstand  $r$  zur Drehachse (Einheit: Nm).

**Drehmoment  $M = F \cdot r$  (Nm)**

Voraussetzungen für die Erzeugung einer Drehbewegung:

1. ein frei bewegliches System
2. eine Drehachse
3. eine exzentrisch wirkende Kraft (Drehmoment)

### 8.3.3 Drehwiderstand oder Massenträgheitsmoment



Körper haben die Eigenschaft, träge zu sein. Der Körper setzt dem Drehmoment einen Widerstand entgegen. Ein Drehmoment  $M$  erteilt einem Körper eine Winkelbeschleunigung  $\omega$ , indem der Trägheitswiderstand der Drehmasse  $J$  überwunden wird.  **$M = J \cdot \omega$**

Pirouette: Veränderung des Massenträgheitsmoments

Das Massenträgheitsmoment  $J$  ist gleich dem Produkt aus der Masse  $m$  und dem Quadrat des senkrechten Abstandes  $r$  zur Drehachse.

**$J = m \cdot r^2$  (kgm<sup>2</sup>)**

Der Lageverteilung der Masse (Körperform) kommt eine besondere Bedeutung zu, da diese als Quadrat in den Drehwiderstand eingeht!

Steiner'sche Satz: „Das Massenträgheitsmoment eines Körpers setzt sich zusammen aus dem Massenträgheitsmoment  $J_{KSP}$  für Drehungen der Körpermasse um den Schwerpunkt und aus dem Massenträgheitsmoment ( $m \cdot r^2$ ) für die Rotation der Körpermasse im Abstand  $r$  um die Achse  $A$ .“  **$J_A = J_{KSP} + \sum m \cdot r^2$**



Mit Hilfe des Steiner'schen Satzes ist es möglich, die einzelnen Massenträgheitsmomente der einzelnen Körperteile zu ermitteln.

Der Körper besitzt sein kleinstes Massenträgheitsmoment dann, wenn er sich um eine Achse dreht, die durch den Körperschwerpunkt verläuft.

### 8.3.3.1 Drehimpuls $L$

Der Drehimpuls  $L$  gibt Auskunft, welche sich drehende Masse (charakt. durch  $J$ ) eine bestimmte Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  besitzt.

$$L = J \cdot \omega$$

Drehmoment = Ausdruck eines momentanen Ergebnisses.

Der Drehimpuls beschreibt den Zeitverlauf eines wirkenden Drehmoments auf einen Körper.

Wenn ein Drehmoment, über die Zeit  $t$  an einem Körper angreift, erhält die sich drehende Masse ein Massenträgheitsmoment  $J$ . Die Winkelbeschleunigung  $\alpha$ , resultiert in einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ .

$$M \cdot t = J \cdot \alpha \cdot t > M \cdot t = J \cdot \omega$$

### 8.3.3.2 Drehimpulserhaltungssatz

Nach dem Trägheitsgesetz formuliert für die Translation, verändert sich der Bewegungszustand eines Körpers ohne äußere Einflüsse nicht. Formuliert für die Rotation gilt:

Der Bewegungszustand der Rotation, d. h. der Drehimpuls eines Körpers, bleibt erhalten, wenn auf ihn kein Drehmoment wirkt.

Z.B. Einer Rolle eines Inlineskates wird mit dem Finger ein Drehmoment mitgegeben (momentan). Nun hat die Rolle einen Drehimpuls, ohne äußere Einflüsse würde dieser Drehimpuls erhalten bleiben.

Es gilt der Drehimpulserhaltungssatz:

In einem abgeschlossenen Körpersystem (ohne äußere Drehmomente) bleibt der Gesamtdrehimpuls nach Richtung und Größe konstant.

$$L = J \cdot \omega = \text{constant}$$

### 8.3.3.3 Rotationsenergie

Ein rotierender Körper besitzt kinetische Energie in Form von Rotationsenergie.

Die lineare Geschwindigkeit eines rotierenden Körpers, der sich im Abstand  $r$  mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  um eine Körperachse dreht, wird mit der Gleichung wie folgt berechnet.

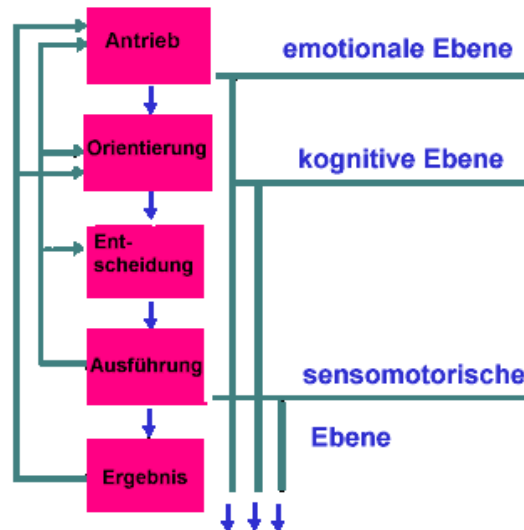
$$v = r \cdot \omega$$

z.B. die lineare Geschwindigkeit der Beine bei der Riesenfelge.

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

## 10 SENSOMOTORIK

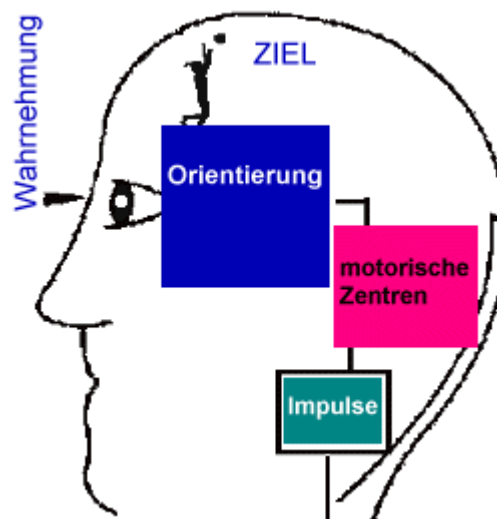
### 10.1 Die menschliche Bewegung als Bewegungshandlung



Eine Handlung beginnt nicht erst mit ihrer sichtbaren Ausführung. Bevor die sensomotorische Ebene im Ausführungsteil beginnt, laufen (meist) noch kognitive und emotionale Prozesse ab. Um Bewegungsprogramme durchführen zu können, sind Informationen von Sensoren aus dem gesamten Körper notwendig. Dieser Prozess wird zusammenfassend als Sensomotorik bezeichnet.

### 10.2 Wie werden Sportbewegungen koordiniert ?

#### Vereinfachtes Modell einer Bewegungshandlung



Bewegungsabläufe sind uns oft so vertraut, dass wir uns zunächst einmal klarmachen müssen, wie viele Einzelbewegungen eine gelungene Sportbewegung ausmachen und wie wir während unserer Bewegungshandlung noch ständig modifizierend in den Bewegungsablauf eingreifen.

Wahrnehmungs- und Bewegungsprozesse sind in Bewegungshandlungen eingebunden.

Eine Handlung beginnt nicht erst wie bereits erwähnt mit ihrer sichtbaren Ausführung. Bevor die sensomotorische Ebene im Ausführungsteil beginnt, laufen (meist) noch kognitive und emotionale Prozesse ab.

Das Zentralnervensystem (ZNS) steuert in diesem Prozess aufgrund von

- inneren und äußeren Wahrnehmungsprozessen
- Informations- und Rückinformationsprozessen
- Denk- und Vorstellungsprozessen
- im Gehirn gespeicherter Bewegungsentwürfen
- Antizipations- und Kontrollprozessen
- physiologischen und biochemischen Prozessen zwischen Nerv und Muskel

Sinnesorgane, Nervensystem und Muskulatur bilden das sensomotorische System.

Die Feinabstimmung verschiedener Muskeleinsätze, die motorische Aktivitäten hervorrufen, wird von bestimmten Sinnesempfindungen gesteuert. Dieses wechselseitige Zusammenspiel motorischer und sensorischer Systeme bezeichnet man als Sensomotorik.

### **10.3 Analysatoren**

Analysatoren sind für die Wahrnehmungsprozesse zuständig. Hiermit sind aber nicht nur die Sinnesorgane gemeint, sondern die gesamte Funktionseinheit zur Aufnahme, Weiterleitung und Verarbeitung eines Sinnesreizes.

Der Analysator besteht aus Rezeptor (zur Aufnahme von Informationen), afferenter Nervenbahn bis hin zur Hirnrinde.

#### **10.3.1 Der optische Analysator**

Der optische Analysator leistet einen substantiellen Beitrag zur Bewegungsregulierung. Dies wird besonders deutlich, wenn der Sehsinn bei Bewegungshandlungen bewusst ausgeschaltet wird. Dann kommt es meistens zu erheblichen Bewe-

gungsunsicherheiten.

Die Sicherung des Bewegungsvollzuges wird weitgehend vom optischen Analysator geleistet, dessen Rezeptoren unter anderem Auskunft über Eigen- und Fremdbewegungen geben.

### **10.3.2 Der kinästhetische Analysator**

Dieser bewegungsempfindende Analysator hat seine Rezeptoren (so genannte Propriozeptoren) in den Muskelspindeln, Sehnen, und Gelenken.

Sie geben Auskunft über die Änderung von Längen, Spannungs- und Gelenkveränderungen während der Bewegung. Seine hohe Leitungsgeschwindigkeit und Differenzierungsfähigkeit machen ihn für die (reafferente) Bewegungskontrolle besonders wichtig.

Der kinästhetische Analysator ist also für die Kontrolle der Eigenbewegung des Körpers zuständig und bei allen Bewegungen unverzichtbar. Jede Bewegung löst notwendig kinästhetische Signale aus.

### **10.3.3 Der statico-dynamische Analysator (Vestibularanalysator)**

Das wichtigste Organ ist hier der Vestibularapparat im Innenohr. Er ist verantwortlich für die richtige Raumlage des Körpers bei motorischen Handlungen und informiert über Lage, Richtungs- und Beschleunigungsveränderungen des Kopfes. (Lage des Kopfes im Schwerfeld der Erde). Bewegungen des Kopfes werden in Richtung und Beschleunigung erfasst.

Einen wichtigen Einfluss hat der Vestibularapparat auf die Augen und auf die Stützmotorik. Zusammen bilden sie die Grundlage des statico-dynamischen Analysators für die Gleichgewichtserhaltung des menschlichen Körpers.

### **10.3.4 Der akustische Analysator**

Der akustische Analysator verarbeitet akustische Signale über den Bewegungsvollzug, Bewegungsauswirkungen oder Umwelt- bzw. Sportgerätgeräusche (z. B. aufspringende Bälle).

Auch verbale oder rhythmisierende Unterstützungen (Klatschen) werden über den akustischen Analysator aufgenommen.

### **10.3.5 Der taktile Analysator**

Der taktile Analysator erhält Informationen über die Rezeptoren der Haut. Über

den taktilen Analysator gewinnen wir Informationen über die Form und die Oberfläche der berührten Gegenstände oder über Widerstände aus Luft und Wasser. (Taktile und kinästhetische Informationen sind aber oft nur schwer zu unterscheiden, da ihre Rezeptoren nahe zusammenliegen)

## **10.4 Unser Gedächtnis**

Für unsere Gedächtnisleistungen sind die Neuronen der Großhirnrinde verantwortlich. Für Speichervorgänge spielen der Hippocampus und die Amygdala eine Schlüsselrolle. Sie organisieren das Langzeitgedächtnis, indem sie immer dann in Aktion treten, wenn Informationen mittel- oder langfristig behalten werden sollen. Beide sind Zentren des limbischen Systems und verfügen über vielfältige Verbindungen mit anderen Hirnregionen. Dies ermöglicht ihnen, die Bedeutung von Signalen zu bewerten und das Resultat auf die Großhirnrinde zu projizieren, wo sie dann permanent gespeichert werden. Neue Informationen werden mit bereits existierendem Wissen in der Großhirnrinde verknüpft, wobei gilt, je größer die Anzahl der Verbindungen mit existierendem Wissen ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass man auf die gespeicherten Informationsinhalte zu einem späteren Zeitpunkt zurückgreifen kann.

Man kann folgende Formen des Gedächtnisses unterscheiden:

### **10.4.1 Sensorisches/ikonisches Gedächtnis**

Dies ist ein äußerst kurzzeitiges photographisches Gedächtnis, welches sich innerhalb von ca. 200 Millisekunden wieder abbaut.

### **10.4.2 Kurzzeitgedächtnis/primäres Gedächtnis**

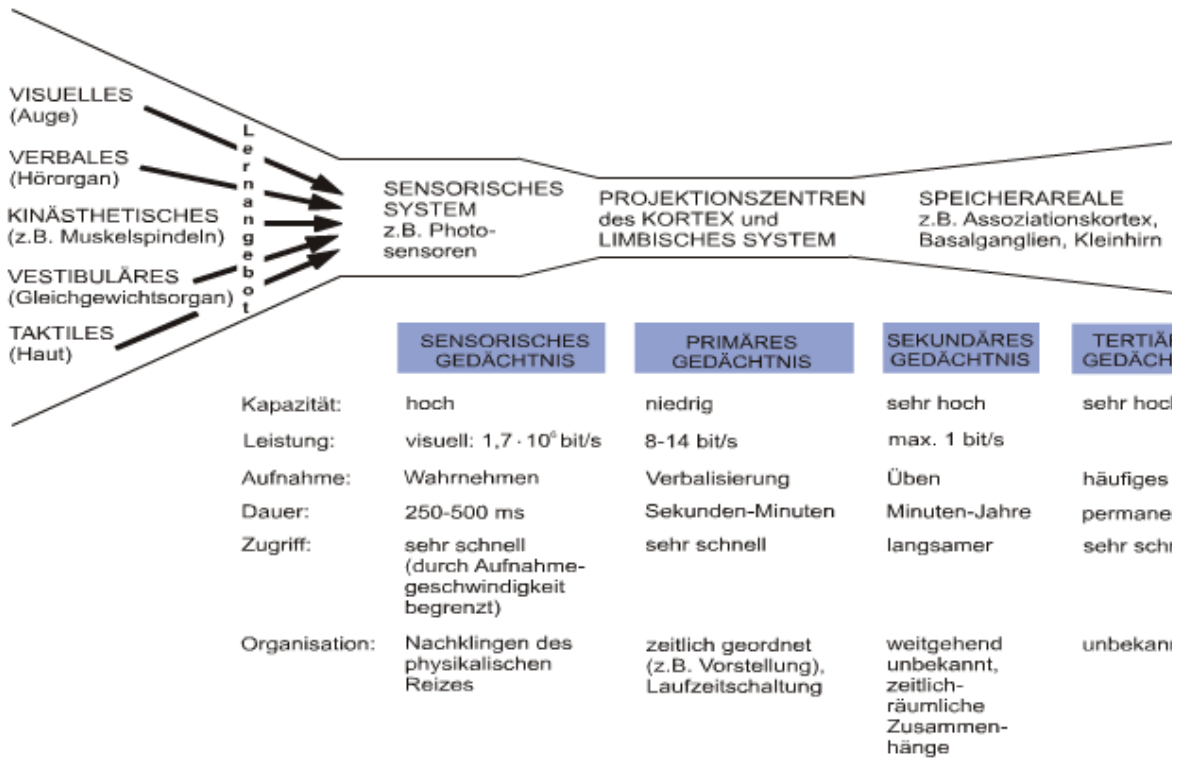
Das Kurzzeitgedächtnis besitzt eine begrenzte Aufnahmekapazität. Es kann nur etwas sieben Items einer völlig neuen Information (z.B. einer Telefonnummer) speichern. Informationen aus dem Alltag werden zunächst ins Kurzzeitgedächtnis aufgenommen. In der Regel handelt es sich dabei um Ereignisse, die uns zum Teil vertraut sind. Diese Informationen verschmelzen mit jenen aus dem Langzeitgedächtnis. Durch diese Verknüpfungen können Infos deutlich länger im Kurzzeitgedächtnis behalten werden. Dieser Speicher wird als Arbeitsgedächtnis bezeichnet.

### **10.4.3 Langzeitgedächtnis/sekundäres Gedächtnis**

Durch Wiederholung und/oder verstärkende Parallel-Prozesse gelangen lernspezifische Informationen in den Speicher des Langzeitgedächtnisses. Hier werden

große Kapazitäten dauerhaft gespeichert, wobei je nach Gewichtung der Information ein deutlicher Unterschied in der Zugriffsgeschwindigkeit festgestellt werden kann.

Alltägliche Bewegungsabläufe wie etwas das Laufen oder Fahrradfahren werden nie vergessen. Sie sind im sog. tertiären Gedächtnis lokalisiert, welches ein eigenständiger Teil des Langzeitgedächtnisses mit extrem kurzer Zugriffsdauer ist.



de Marées: Sportphysiologie

## 10.5 Spinalmotorische Reflexe

Reflexe stellen die funktionelle Grundlage für Bewegungen dar.

Einfache Haltungs- und Bewegungsmuster sind unabhängig vom Gehirn durchführbar, weil die steuernden Neuronenschaltungen im Rückenmark liegen. Das Rückenmark übernimmt somit neben der Umschaltung und Leitung von Impulsen eine Hauptaufgabe bei der Aufrechterhaltung der Körperposition sowie die Auslösungen von Reflexmechanismen (z.B. Patellarsehenreflex)

Beim Dehnreflex dienen die Muskelspindeln als Dehnungsrezeptoren. Diese verlaufen parallel zur quergestreiften Skelettmuskelfaser und bestehen aus einem nicht kontraktilem Mittelstück und zwei kontraktilem Endstücken.

Bei der Dehnung des Skelettmuskels spannt sich die Muskelspindel, bei einer

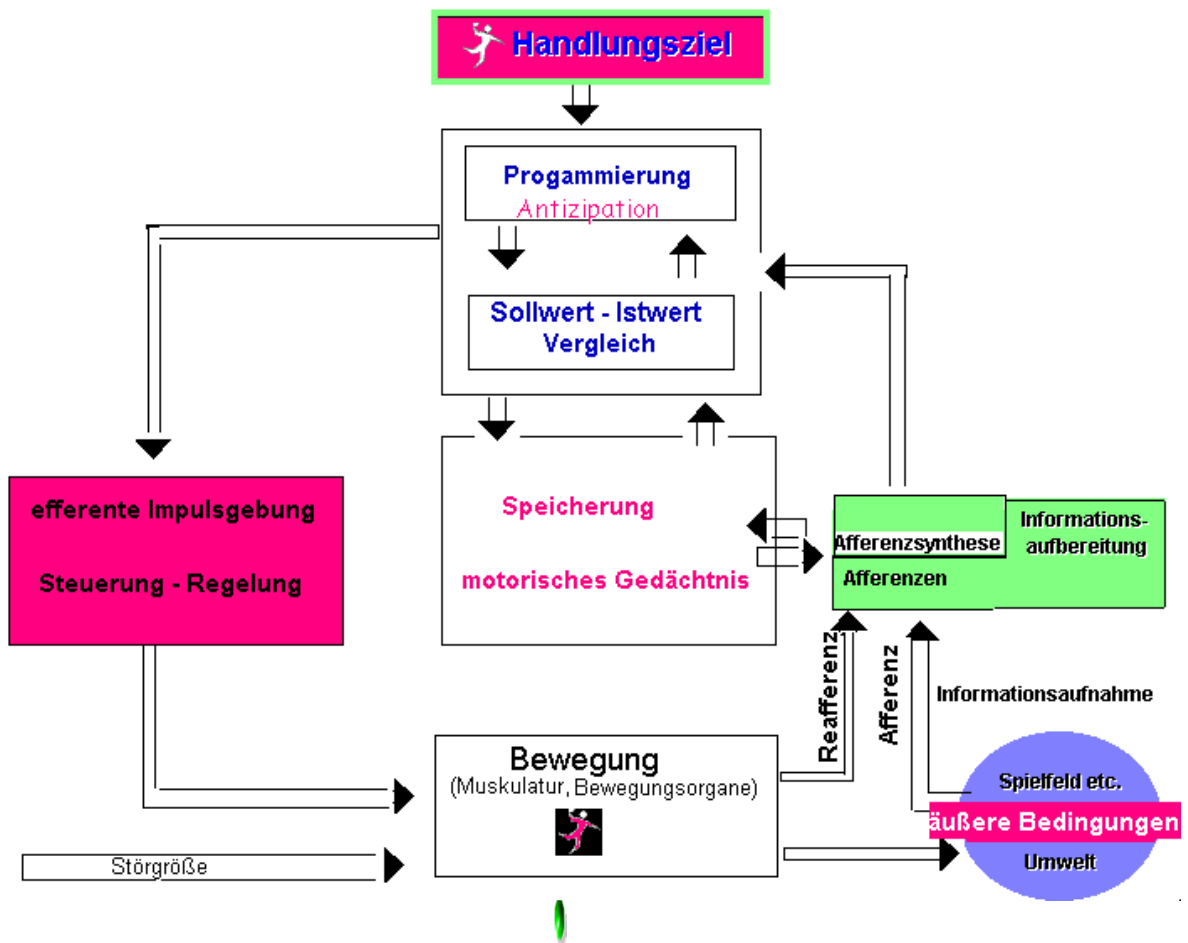
Kontraktion entspannt sie sich.

Wenn ein Muskel gedehnt wird, z.B. bei einem Schlag auf die Patellarsehne, erhöht der Dehnungsrezeptor der Muskelspindel seine Impulse über schnelle Nervenfasern, die mit dem Hinterhorn des Rückenmarks verbunden sind. Im Rückenmark werden die eintreffenden Spindelerregungen sofort auf eine motorische Vorderhornzelle geleitet, die als Motoneuron über schnelle Fasern die quergestreifte Arbeitsmuskulatur mit Nervenreizen versehen. Mit genügend großer Spindelerregung kommt es schließlich zur Kontraktion und ggf. zur Bewegung.

Der Dehnungsreflex hält als Antischwerkraftreflex den Körper aufrecht.

Beugereflexe dienen grundsätzlich der Vermeidung von körperlichen Verletzungen.

## 10.6 Modell der Bewegungskoordination



(nach Meinel/Schnabel bzw. Bernstein)

Modelle über die Bewegungskoordination werden heute meist als Regelkreismodelle dargestellt.

Die wesentlichsten Teilprozesse solcher Theorien der Bewegungskoordination sind:



- Die orientierende und motivierende Informationsaufnahme und -aufbereitung durch die Analysatoren.
- Die Programmierung des Bewegungsablaufes und Ergebnisvorausnahme (Antizipation) auf der Grundlage der Handlungsziele, der sensorischen Information über die Ausgangssituation und der Auswertung des motorischen Gedächtnisses.
- Die Erteilung der Steuerimpulse an die Muskulatur (Innervation).
- Die Bewegungsausführung durch die Bewegungsorgane in Wechselwirkung von Muskel- und äußeren Kräften.
- Die ständige Rückinformation (Feedback) über den Bewegungsablauf.
- Der Vergleich der Rückinformation mit dem antizipierten Ziel und Programm (Sollwert-Istwert-Vergleich).
- Die Erteilung von Regelimpulsen (Korrekturbefehlen an die Muskeln)

### **10.6.1 Afferenzen**

Informationen bzw. Signalreize, die über die Sinnesorgane aufgenommen und an das zentrale Nervensystem (ZNS) weitergeleitet werden.  
(Wichtig für: Ausgangssituation, Zwischen- und Endergebnisse)

### **10.6.2 Affferenzsynthese**

Die verschiedenen afferenten Informationen liefern ein "Bild" über den augenblicklichen Zustand der Umwelt, des Körpers bzw. der eigenen Bewegung.

### **10.6.3 Efferenzen**

sind Information, die vom ZNS (Gehirn, Rückenmark) zur Peripherie (Bewegungsorganen) übermittelt werden.

### **10.6.4 Reafferenzen**

liefern Rückmeldungen über Verlauf und Ergebnis der Bewegung (Rückinformation; Feedback), die von der Peripherie zum ZNS übermittelt werden.

## **10.7 Nervensystem und Bewegungsteuerung**

Jede zielgerichtete Bewegung ist eine koordinative Gesamtleistung des Zentralen Nervensystems (ZNS) unter Führung des Großhirns.

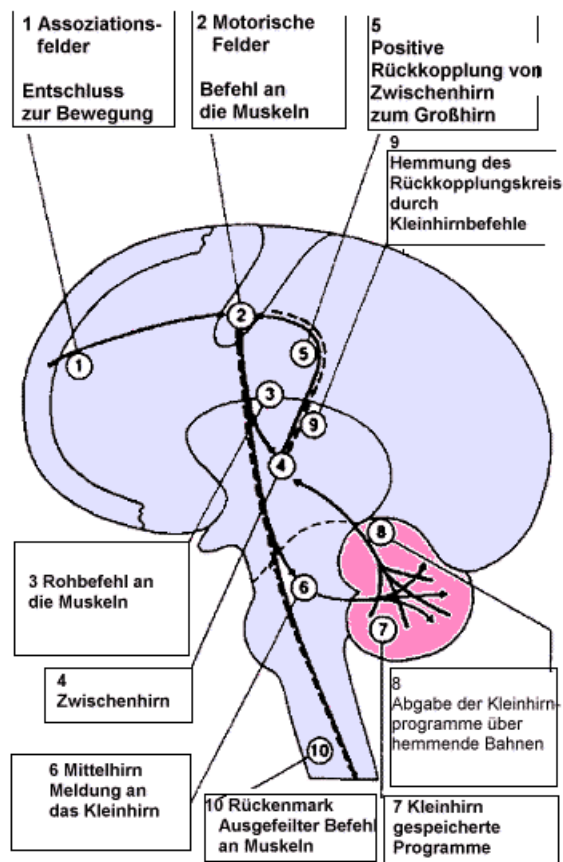
Das Kleinhirn ist der Fertigkeitsspeicher für Sportbewegungen.

Wenn wir eine sportliche Bewegung ausführen, so ist es uns nur bedingt möglich, alle Teilbewegungen bewusst zu kontrollieren. Aufgrund der geringen Kapazität des Großhirns für Bewusstseinsprozesse kann die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf nur sehr wenige Details einer sportlichen Aktion gerichtet sein. Was genau im Körper abläuft, ist dem Großhirn - das die bewussten Vorgänge steuert - nicht bewusst. Trotzdem läuft bei geübten Spielern die Bewegung - dank der im Kleinhirn gespeicherten Fertigkeiten (Bewegungsprogramme/Bewegungsentwürfe) - ohne Fehlleistung ab. Alle Muskeln arbeiten koordiniert.

Das "Bewegungshirn" - bei schnellen Bewegungen vor allem das Kleinhirn - ist für die Feinarbeit der Muskeln bei der Bewegungssteuerung verantwortlich.

Die Lösung sportmotorischer Aufgaben erfolgt unter Führung des Großhirns ("Denkhirn") auf der Basis im Kleinhirn gespeicherter Fertigungsprogramme. Die Präzision der im Kleinhirn gespeicherten Programme hängt davon ab, wie umfangreich und intensiv eine Bewegung geübt bzw. trainiert worden ist. Geübte Sportler haben für die wichtigsten Bewegungsformen ihrer Sportart im Kleinhirn sehr exakt und zuverlässig arbeitende Programme gespeichert, ein Resultat jahrelangen Techniktrainings.

## 10.8 Modell: Ablauf der Bewegungssteuerung



"Der Entschluss zur Bewegung entsteht in den Assoziationsfeldern des Großhirns (1).

Er enthält die Information, welche Körperteile die Bewegung ausführen sollen. Dieser Entschluss wird zu den sog. motorischen Feldern (Motorcortex) geleitet (2), die für alle Muskelpartien spezielle Nervenzellen besitzen.

Diese Nervenzellen erteilen nun den für die Bewegung benötigten Bein-, Fuß-, Arm-, Handmuskeln usw. den Befehl, Kraft zu bilden (3).

Allein aufgrund dieser Befehle würde jedoch die Bewegung nur sehr grob und unzureichend koordiniert ablaufen, wobei die Ungenauigkeit durch antreibende Impulse aus dem Zwischenhirn - ein Teil des Antriebs- und Empfindungshirns (Thalamus) - noch verstärkt wird (5).

Gleichzeitig läuft der Rohbefehl auch über Querverbindungen in das Kleinhirn (6).

Dort sind für alle geübten Bewegungen Programme gespeichert, die Informationen zur Feinkoordination der Muskelarbeit enthalten (7).

Auf der Grundlage dieser Bewegungs(fertigkeits)programme dämpft das Kleinhirn mit hemmenden dass die Nervenzellen der motorischen Felder nur Befehle abgeben, die genau der vorgesehenen Bewegung entsprechen (9).

Ein so durch das Kleinhirn modellierter Befehl läuft über das Rückenmark zu den

Muskeln der beteiligten Glieder (10) und bewirkt schließlich, dass die Muskeln wohl abgestimmt - eben koordiniert - Kraft bilden."

## **10.9 Das Kleinhirn - Fertigkeitsspeicher für Sportbewegungen**

Die Fähigkeit, zielgerichtete Bewegungen situationsangemessen zu koordinieren, ist das Ergebnis von (sensomotorischen) Lernprozessen

"Sehr vereinfachend skizziert wird aus psychologischer Sicht eine Bewegungsaufgabe gelöst, indem nach Wahrnehmung einer zur Bewegung auffordernden Situation und den damit verbundenen Motivationsprozessen eine Bewegungshandlung erfolgt. Dabei hängt vor allem bei schnellen Bewegungen der Handlungserfolg davon ab, inwieweit Teile einer Bewegungsfolge ohne Beteiligung des Bewusstseins - gewissermaßen automatisch - ablaufen können. Demnach müssen zur Lösung sportlicher Aufgaben Bewegungsautomatismen (Fertigkeiten) verfügbar sein, deren Programme im "Unterbewusstsein" verankert sind.

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist davon auszugehen, dass Programme für schnelle Bewegungen im Kleinhirn gespeichert werden. Das Kleinhirn ist ein Organ, das in viele Rückmeldungssysteme eingebaut ist und dadurch die sensomotorischen Programme kontrollieren kann. Bei Versuchen, neue Bewegungstechniken zu erlernen, laufen aus den dem Kleinhirn übergeordneten motorischen Zentren des Großhirns Impulse zu den Motoneuronen im Rückenmark, um die geplante Bewegung auszulösen. Die Bewegungsausführung wird dem Kleinhirn über die Kanäle der Sinnesorgane rückgemeldet und falls Programmierungsfehler vorhanden sind, greift das Kleinhirn ein, um die Leistung zu verbessern. Dieser Mechanismus kommt aber bei schnellen Bewegungen zu spät und reicht nicht aus, um die Kleinhirnfunktion bei schnellen und exakten Bewegungen zu erklären...

Bei der Koordination schneller, zielgerichteter Bewegungen ist das Kleinhirn bereits an der Programmierung beteiligt, wozu es durch die während der Lern- und Übungsprozesse gespeicherten Erfahrungen befähigt ist. Bei gekonnten Bewegungen entladen sich schon vor Beginn der Bewegung Kleinhirn-Neurone und beteiligen sich an der Modellierung des Endprogramms. Wenn also im Großhirn der Entschluss zur Bewegungsausführung entstanden ist, existiert ein äußerst rascher und zuverlässiger Informationswechsel zwischen Großhirn und Kleinhirn.

Das Großhirn kann keine Aktion in Gang setzen, ohne dass das Kleinhirn sofort darüber Bescheid weiß. Es gibt keinen Zweifel darüber, dass das Großhirn das Kommandozentrum ist, aber alle Instruktionen, die es zu den Motoneuronen des Rückenmarks feuert, werden unmittelbar in die gesamte Computermaschinerie der Kleinhirnrinde eingegeben.

Es wird angenommen, dass der Input in der Kleinhirnrinde unter Einsatz ihrer Gedächtnisspeicher verarbeitet wird und nach weiterer Verarbeitung in den Kleinhirnkernen zur gleichen motorischen Region des Großhirns zurückgegeben wird (Eccles 1979, 168).

Von Neurophysiologen wird heute allgemein akzeptiert, dass intensive neuronale Aktivitäten Spuren im ZNS hinterlassen, die sich zunächst in sog. dynamischen Engrammen niederschlagen. Darunter versteht man eine neuronale Organisation im Gehirn, die auf einer spezifischen Musterbildung von Impulsübertragungen beruht, bis zu Stunden bestehen bleibt und nur kraft dieses anhaltenden strukturierten Vorgangs existiert.

Es wird davon ausgegangen, dass die an der Impulsmusterbildung beteiligten Synapsen in der dynamischen Engrammzeit für Folgeerize besonders empfänglich sind. Für das Erlernen sporttechnischer Bewegungsfertigkeiten ist es wichtig, dass zur Stabilisierung eines als richtig bewerteten und damit speicherungswürdigen Bewegungsmusters der nächste Versuch erfolgt, bevor das dynamische Engramm erloschen ist. Dann nämlich "schleift" sich das Nervenimpulsmuster durch überdauernde Veränderungen der beteiligten Synapsen ein und wird zum bleibenden Engramm, psychologisch ausgedrückt: zum motorischen Gedächtnisbesitz."

(Martin u.a, S.68)