

Abbildung 14: Wege der Energiebereitstellung

Anaerob-alaktazide Energiebereitstellung (Energiebereitstellung ohne Sauerstoff und ohne Bildung von Laktat)

Zunächst zerfällt bei der Muskelkontraktion das in den Mitochondrien vorhandene ATP in Adenosindiphosphat (ADP) und einen Phosphatrest (P).

Der Körper muss anschließend dafür sorgen, dass neues ATP hergestellt wird.

Die Energie eines weiteren Phosphats in der Muskelzelle, das des Kreatinphosphats (KP), sorgt kurzfristig dafür, dass aus ADP und P wieder ATP entsteht (Resynthese von ATP).

Bei der anaerob-alaktaziden Phase der Energiebereitstellung entsteht kein Laktat (Salz der Milchsäure).

Der Kreatinphosphat-Speicher ist nach ca. 7 s aufgebraucht.

Anaerobe Glykolyse (Energiebereitstellung ohne Sauerstoff unter Anflutung von Laktat)

Wenn so viel Energie pro Zeit benötigt wird, dass nicht genug Sauerstoff zu dieser Energiegewinnung vorhanden ist, erfolgt die anaerob-laktazide Energiebereitstellung durch Glykogen. Glykogen ist die Speicherform von Glukose im menschlichen Körper. Glykogen kann im Muskel und in der Leber gespeichert werden.

Die benötigte Energie steht bei der anaeroben Glykolyse schnell zur Verfügung (hohe Energieflussrate); die Energieausbeute ist aber gering, da das Zuckermolekül nicht vollständig zerlegt wird. Es entsteht Laktat. Dies führt schnell zur Ermüdung, da Enzyme für die ATP-Bildung gehemmt werden.

Im Spitzenbereich wurden Laktatkonzentrationen bis zu 25 mmol/Liter im Blut beobachtet; Untrainierte kommen auf bis zu 7 – 8 mmol/l. Ab ca. 6 – 8 mmol/l wird i. d. R. die Technik und Taktik beeinflusst.

Letztlich wird die Aufrechterhaltung der Belastungsintensität durch Übersäuerung determiniert.

Aerobe Glykolyse (Energiebereitstellung aus Kohlenhydraten)

Wenn genug Sauerstoff zur Verfügung steht bzw. die nötige Zeit dafür zur Verfügung steht, kann die Glucose vollständig abgebaut werden.

Es entsteht ATP, CO₂ und Wasser, aber keine Milchsäure. Dadurch wird die Funktionsfähigkeit der Enzyme nur sehr wenig beeinträchtigt.

Die Energieausbeute ist deutlich größer (38 Moleküle ATP aus einem Zuckermolekül) als bei der anaeroben Glykolyse.

Die muskulären Glykogenreserven sind bei einer intensiven Dauerbelastung je nach Trainingszustand nach 60 bis 90 Minuten weitgehend erschöpft.

Aerobe Lipolyse (Energiebereitstellung aus Fetten)

Auf aerobem Weg können neben Kohlenhydraten auch Fettsäuren abgebaut werden.

Für die Bildung der gleichen Mengen ATP braucht die Zelle mehr (ca. 16 %) Sauerstoff als bei der Verwendung von Kohlenhydraten.

Die bereitgestellte Energiemenge pro Zeiteinheit (Energieflussrate) ist ungefähr nur halb so groß wie bei der aeroben Energiegewinnung aus Kohlenhydraten. Daher muss in der Regel, wenn die Kohlenhydrate als Energielieferant aufgebraucht sind, die Belastungsintensität (z. B. Laufgeschwindigkeit) vermindert werden. Dafür weist die Lipolyse eine höhere Effizienz als die Glykolyse auf.

Solang die Glykogen-Vorräte noch nicht erschöpft sind, beträgt der Anteil der Fette an der Energiegewinnung maximal 50 %.

Fälschlicherweise wird häufig behauptet, dass der Fettstoffwechsel (aerobe Energiebereitstellung aus Fetten) erst nach 30 Minuten einsetzt. Tatsächlich beginnt die aerobe Energiebereitstellung aus Fetten bereits nach wenigen Sekunden.

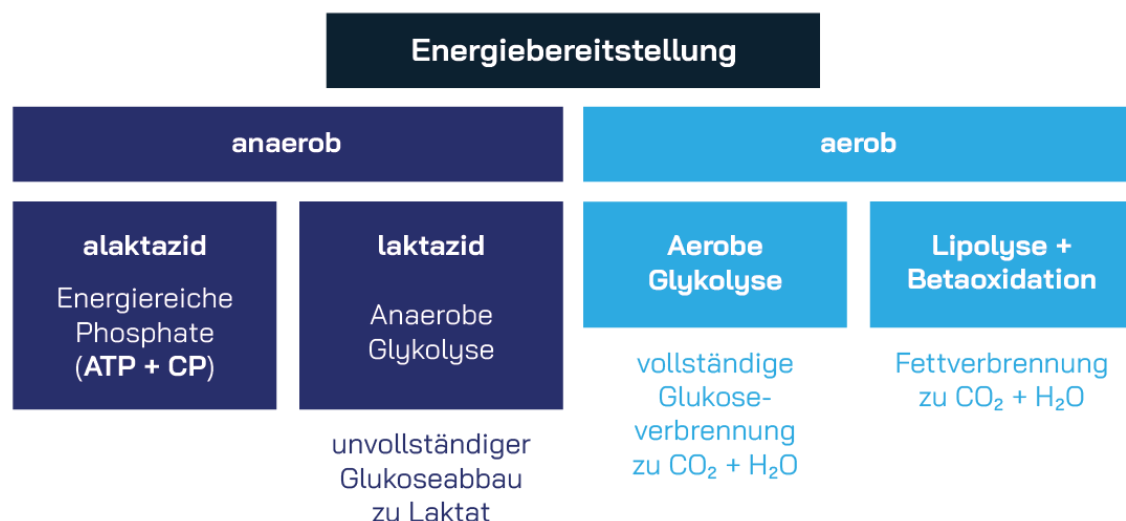


Abbildung 15: Energiebereitstellung (eigene Darstellung)

Alle Energiebereitstellungsprozesse laufen parallel und nicht isoliert oder nacheinander ab! Daher sollte stets von der „Art der vorrangigen Energiebereitstellung“ gesprochen werden.

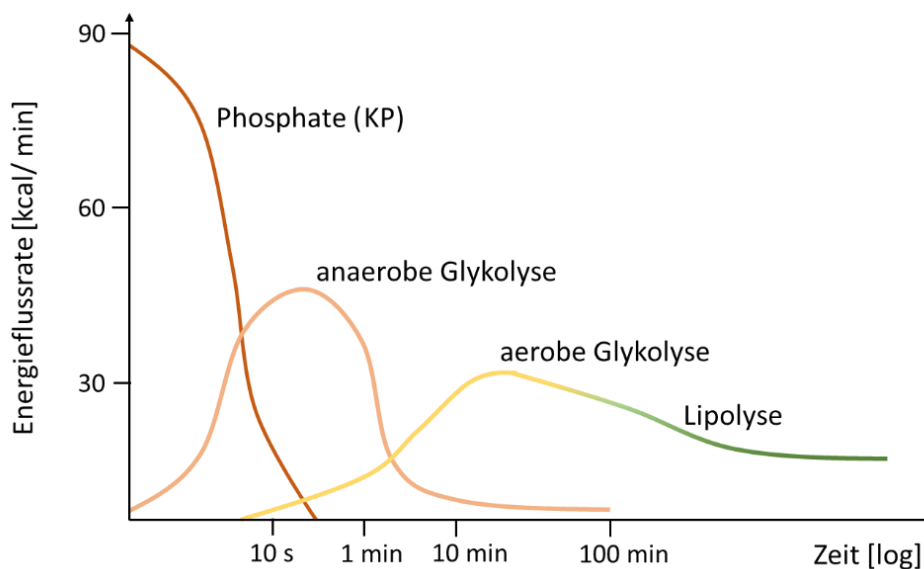


Abbildung 16: Energieflussrate und Energiegewinnung im zeitlichen Verlauf

3.2 Energieausbeute

Die Anzahl der gelieferten ATP-Moleküle unterscheidet sich je nach Art des Energieträgers als auch nach der Art der Verbrennung:

- 1 Kreatin 1 ATP
- 1 Glykogen (gegoren) 2 ATP
- 1 Glykogen (verbrannt) 36 ATP
- 1 Fettmolekül 120 ATP

3.3 Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Arbeitsweise der Skelettmuskulatur

Ob die Energieträger auf aerobe oder anaerobe Weise verbrannt werden, hängt unter anderem von der zur Verfügung stehenden Menge Sauerstoff ab. Durch die Kontraktion des Muskels kann dessen eigene Blut- und damit auch Sauerstoffversorgung unterbrochen werden. Dies hängt von der Arbeitsweise des Muskels und dessen Spannungsintensität ab:

Tabelle 6: Energiebereitstellung in einzelnen Arbeitsweisen der Muskulatur in Abhängigkeit von der Muskelspannung in % der maximalen Spannung

Arbeitsweise	Muskelspannung in % der maximalen Spannung			
statisch	< 15 %	15 – 30 %	30 – 50 %	> 50 %
dynamisch	< 30 %	30 – 50 %	50 – 70 %	> 70 %
Energiebereitstellung	aerob	dominant aerob	dominant anaerob	anaerob

Ab einer Muskelspannung von ca. 50 % der maximalen Spannung wird durch die kontraktile Elemente die Blutversorgung des Muskels unterbrochen. Daher erfolgt die Energiebereitstellung bei diesen Intensitätsbereichen vorrangig anaerob. Bei statischen Halteübungen oder bei dynamischen Übungen, bei

denen während der Bewegungsausführung bestimmte Muskeln nicht entlastet werden, wird in der Regel nach kurzer Zeit ein Schmerzreiz zu spüren sein. Dies ist auf spezifische Rezeptoren im Muskel zurückzuführen, die eine Sauerstoffarmut registrieren und daher einen Ischämie-Schmerz verursachen.

3.4 Der Einfluss von Training auf die Muskulatur

Die Muskulatur ist ein sehr adaptives Gewebe. Je nach Trainingsform und –intensität erfolgen spezifische Anpassungserscheinungen.

Tabelle 7: Spezifische Anpassungen der Muskulatur an unterschiedliche Trainingsreize

Der Einfluss von Ausdauertraining auf Muskeln	Der Einfluss von Krafttraining auf Muskeln
<ul style="list-style-type: none"> • Vermehrung der Mitochondrien und Erhöhung ihres Volumens • Vermehrung spezifischer Enzyme • Erhöhung der Glykogenspeicher im Muskel • Verschiebung des Muskelfaserspektrums • Verbesserung der Kapillarisierung • Herzmuskelvergrößerung (im Extremfall Sporthertz, aber sehr selten!) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hypertrophie (= Muskelquerschnittsvergrößerung) • Erhöhung der Glykogen- und Kreatinphosphatspeicher im Muskel • Vermehrung der Mitochondrien (v.a. bei Kraftausdauertraining)

4 Biomechanische Grundlagen

Lernziele

In diesem Kapitel lernst du, ...

1. wie sich grundsätzliche physikalische Prinzipien auf den Sport übertragen lassen.
2. wie du mit physikalischen Grundlagen die Effizienz und Leistung im Sport steigern kannst.
3. wie du Bewegungen mit biomechanischen Prinzipien erklären kannst.
4. welche Auswirkungen die physikalischen Erkenntnisse für die Praxis haben.

Ergänzend zur empirischen Bewegungsforschung, die sehr stark von subjektiven Einschätzungen und Erfahrungen abhängig ist, besitzt die Biomechanik einen unabhängigeren und faktenbasierten Ansatz Bewegungen zu beobachten und zu analysieren. Ihr zugrunde liegen – wie ein Teil des Begriffs schon erahnen lässt – die Gesetze der Mechanik. Willimczik formulierte eine heute sehr geläufige Definition der Biomechanik:

„Die Biomechanik des Sports ist die Wissenschaft von der mechanischen Beschreibung und Erklärung der Erscheinungen und Ursachen von Bewegungen im Sport unter Zugrundelegung der Bedingungen des menschlichen Organismus.“ (Willimczik, 1999)

Die Biomechanik besitzt einige Teilbereiche, die für einen Fitnesstrainer von Interesse sein können. Die *Leistungsbiomechanik* beschäftigt sich mit der Analyse und Optimierung der Technik sportlicher Bewegungen. So erklärt sie beispielsweise warum der *Fosbury-Flop* eine bessere Hochsprungtechnik darstellt als die zuvor angewendete *Straddle*-Technik. Die *präventive Biomechanik* ist in vielen medizinischen und rehabilitativen Einrichtungen ein elementares Arbeitsgebiet. Belastungsanalysen und Belastungsgestaltung sind hier Tätigkeitsschwerpunkte. Beispielsweise kann mit Hilfe einer Kraftmessplatte untersucht werden, welche Kräfte bei verschiedenen Sprungbewegungen auftreten, um hinsichtlich einer Verletzungsvorbeugung valide Empfehlungen zu geben. Die *anthropometrische Biomechanik* setzt sich mit der Ermittlung und Anwendung der Körperbaumerkmale auseinander. Sie ist wichtig für Eignungsdiagnosen oder Leistungsprognosen, steht aber in sehr engem Bezug zu den beiden erstgenannten Ausrichtungen.

4.1 Mechanische Grundlagen

4.1.1 Masse, Erdbeschleunigung und Kraft

Die Masse (m) ist eine physikalische Größe und gibt an, wie schwer ein Körper ist. Das Gewicht eines Körpers ist physikalisch gesehen die Kraft (F) mit der seine Masse zum Erdmittelpunkt beschleunigt wird. Diese Beschleunigung ist als Gravitation oder Erdanziehung bekannt. Sie beträgt auf der Erdoberfläche überall $9,81 \text{ m/s}^2$ und wird daher als Gravitationskonstante (g) bezeichnet. Hieraus folgt die bekannte Formel $F = m \times g$. Die Einheit der Kraft ist das Newton (N). Übersetzt bedeutet die Formel, dass die Kraft, die ein Körper auf den Boden ausübt, gleich dessen Masse in kg mal der Gravitationskonstante ist. Ein 100 Kilogramm schwerer Gewichtheber übt demnach eine Kraft von 981 Newton (N) auf den Boden aus.

4.1.2 Druck

Druck entspricht dem Verhältnis von Kraft zur Fläche ($\text{Druck} = \text{Kraft}/\text{Fläche}$) (Willimczik, 1999). Als Einheit wird Druck entweder in Pascal (Pa) oder speziell in der Biomechanik auch als Newton pro

Quadratmeter (N/m^2) angegeben. Druck wird also entscheidend von der Kraft sowie der Fläche geprägt. Wirkt eine gleichgroße Kraft auf eine große und kleine Fläche, so ist der Druck auf die kleinere Fläche höher. Ein praktisches Beispiel stellen Gelenkknorpel dar, sie verringern den Druck auf die Gelenke, indem sie die Fläche vergrößern (Willimczik, 1999).

4.1.3 Hebelgesetz

Das Hebelgesetz besagt, dass das Produkt aus Kraft und Kraftarm dem Produkt aus Last und Lastarm entspricht (Siegele, 2003). Als praktisches Beispiel kann das Heben von Lasten herangezogen werden (siehe Abbildung 17). Eine Verkürzung des Lastarms (z. B. körpernahes Tragen von Gegenständen) verringert die aufzubringende Kraft der Rückenmuskulatur und somit den Kompressionsdruck auf die Bandscheiben.



Abbildung 17: Korrektes und falsches Heben von Lasten

Die Praxisrelevanz des Hebelgesetzes wird auch an der Vorneige des Oberkörpers offensichtlich (siehe Abbildung 18).

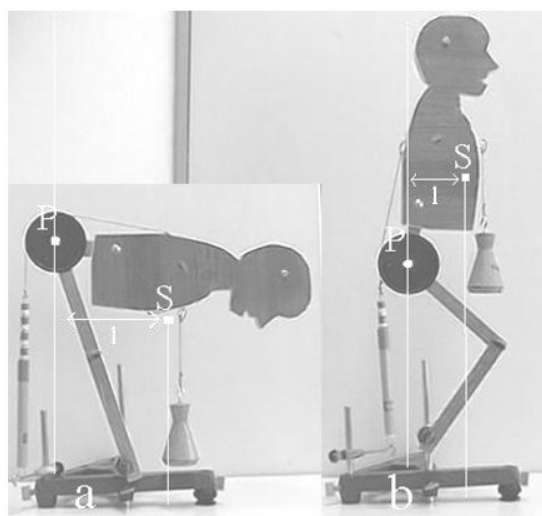


Abbildung 18: Hebelgesetz: Vorneige des Oberkörpers

Bei einer Tragelast von beispielsweise 50 kg wirken bei unterschiedlichen Neigewinkeln differierende Kräfte auf die Wirbelsäule (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Kräfte auf die Wirbelsäule bei der Vorneige des Oberkörpers für unterschiedliche Neigewinkel und einer Traglast von 50 kg

Neigewinkel	Last
0°	90 kg
30°	360 kg
60°	630 kg
90°	720 kg

Bei einem 90° Neigungswinkel wirken im Vergleich zu einem 30° Neigungswinkel also doppelt so hohe Kräfte auf die Wirbelsäule. Speziell für die Belastung der Lendenwirbelkörper gibt es empfohlene Grenzwerte, die aus gesundheitlicher Sicht nicht überschritten werden sollten (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Empfohlene Grenzwerte der Lendenwirbelkörper-Belastung in kN (1 kN = 100 kg)

Alter	Frauen	Männer
20 Jahre	4,4	6,0
30 Jahre	3,8	5,0
40 Jahre	3,2	4,0
60 Jahre	2,6	3,0
> 60 Jahre	2,0	2,0

Die Einheit kN steht für Kilonewton (1.000 Newton), wobei 1 kN einer Masse von 100 kg entspricht. Gemäß den empfohlenen Grenzwerten sollte beispielsweise ein 35-jähriger Mann seine Lendenwirbelsäule mit maximal 500 kg belasten. Betrachtet man Tabelle 8, wird die hohe Relevanz einer ergonomischen Lastenhandhabung deutlich. Bereits das Heben von lediglich 50 kg führt bei einer solchen Person unter der Prämisse eines Neigewinkels von 60° bereits zu einer sehr hohen Belastung der Lendenwirbel (630 kg), die mehr als 25% oberhalb der empfohlenen Grenzwerte liegt.

In der Praxis kann die Belastung der Wirbelsäule wie folgt verringert werden:

- Körpernahes Tragen von Lasten
- Rückengerechtes Heben von Lasten
- Vermeidung ruckartiger Hebebewegungen
- Vermeidung von Übergewicht
- Aufrechte Körperhaltung
- Kräftigung der Rücken-, Bauch- und Beinmuskulatur

Nicht jede Überbeanspruchung der Wirbelsäule muss zwangsläufig direkt zu einer Verletzung führen. Dennoch kann aus einem langfristigen, sich wiederholenden Missverhältnis aus Belastung und Belastbarkeit ein Schaden der Wirbelsäule entstehen.

Die Newton'schen Gesetze bestehen aus dem Trägheitsgesetz, dem dynamischen Grundgesetz sowie dem Reaktionsgesetz. Das Trägheitsgesetz besagt, dass ohne äußere Krafteinwirkung ein Körper im Zustand der Ruhe oder der geradlinig gleichförmigen Bewegung verharrt. Aus dem dynamischen Grundgesetz geht hervor, dass die wirkende Kraft und die erzielte Beschleunigung proportional zueinander sind, d. h. die Kraft entspricht dem Produkt aus Masse und Beschleunigung ($F = m \cdot a$). Gemäß dem Reaktionsgesetz bewirkt jede Kraft eine gleich große Gegenkraft (actio = reactio). Dabei gilt, dass jede Kraft F eine Gegenkraft F' (Reaktionskraft) von gleichem Betrag, aber entgegengesetzter.

4.1.4 Newton'sche Axiome

Auf einen der berühmtesten Wissenschaftler aller Zeiten, Isaac Newton, sind drei Grundsätze (Axiome) zurückzuführen, welche als Grundlage der klassischen Mechanik gelten und auch in allen Bereichen des Sports zu finden sind. Die drei Axiome beschreiben den Zusammenhang zwischen den Veränderungen des Ruhe- oder Bewegungszustands von Körpern und den auf sie wirkenden Kräften (Klein und Voelker 2005).

Das *Trägheitsgesetz* besagt, dass ein ruhendes oder ein sich gleichförmig bewegendes Objekt in seinem Zustand verharrt, solange keine Kraft auf das Objekt einwirkt. Je höher die Masse eines Objekts ist, desto höhere Kräfte müssen auf ihn einwirken, um seinen Bewegungs- oder Ruhezustand zu beeinflussen – der Körper ist also träger als ein leichterer Körper.

Das *Beschleunigungsgesetz* oder das dynamische Grundgesetz beschreibt die Abhängigkeiten zwischen Masse, Beschleunigung und Kraft. Um einen Körper beschleunigen zu können, muss eine Kraft auf ihn einwirken. Dabei ist die dafür benötigte Kraft proportional zu der Masse des Körpers und der Beschleunigung. Hierin liegt eine wertvolle Information hinsichtlich sportlicher Leistungsfähigkeit und dessen Training. Eine hohe Beschleunigung des Körpers oder von einzelnen Körperteilen ist oftmals leistungsrelevant. Dies ist jedoch ohne einen gewissen Kraftaufwand nicht realisierbar, weshalb Krafttraining in vielen Sportarten einen großen Stellenwert besitzt. Die Schwierigkeit liegt aber oft darin, dass ein Kraftzuwachs mit einer Zunahme der Muskelmasse einhergeht, was aber nicht immer erwünscht ist, da eine größere Masse sich auch negativ auf die Leistung auswirken kann. Durch diese gegenläufige Abhängigkeit muss in vielen Sportarten ein Kompromiss zwischen Gewicht und Masse gefunden werden. Daher werden im Krafttraining auch Methoden eingesetzt, die zwar eine Steigerung der Muskelkraft, aber keine übermäßige Hypertrophie verursachen.

Ein Körper kann seinen Bewegungszustand ohne einen zweiten Körper nicht verändern. Kräfte stammen immer von außen, d.h. von einem anderen Körper. Das *Wechselwirkungsgesetz* oder Reaktionsprinzip besagt, dass wenn ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft auswirkt, dann wirkt Körper B gleichzeitig mit einer gleich großen entgegengesetzten Kraft auch auf Körper A. So wirkt beispielsweise bei einem Strecksprung eine Kraft von 350 Newton auf den Boden, aber auch gleichzeitig wirkt eine entgegengesetzte Kraft von 350 Newton auf den Springer.

4.1.5 Translation & Rotation

Bewegungen, oder im physikalischen Sprachgebrauch Ortsveränderungen von einzelnen Körperpunkten, lassen sich prinzipiell in zwei Klassen aufteilen – die Translation und die Rotation.

Eine Translationsbewegung liegt vor, wenn die zurückgelegten Wege einzelner Körperpunkte parallel und deckungsgleich verlaufen. Verlaufen die Wege der Körperpunkte allerdings in konzentrischen Kreisen, wird von einer Rotationsbewegung gesprochen. Ein Beispiel dafür stellt die Tretbewegung auf dem Fahrradergometer dar. Der Fußballen beschreibt dabei eine perfekte kreisrunde Bewegung um die Lagerachse des Fahrrads. Ein Beispiel für eine translatorische Bewegung wäre die (nahezu) horizontale Verschiebung des Hüft- und Schultergelenks beim normalen Fahrrad fahren. In den seltensten Fällen sind Bewegungen jedoch ausschließlich eine Rotations- oder Translationsbewegung, meistens überlagern sich diese beiden Bewegungsklassen. So hat beispielsweise eine Rolle vorwärts auf dem Boden einerseits eine translatorische Bewegung, in der der Körper von Beginn bis Ende des Elements einen horizontalen Weg zurücklegt, aber auch eine Rotationsbewegung, in der der Körper sich einmal um seine eigene Achse dreht.

4.2 Biomechanische Prinzipien

Die in der Sportwissenschaft weit verbreiteten biomechanischen Prinzipien sind auf den deutschen Biomechaniker Gerhard Hochmuth zurückzuführen. Sie beruhen auf der Übertragung von mechanischen Gesetzen auf die sportliche Bewegung und stellen hilfreiche Leitlinien bei der Beurteilung einer sportlichen Technik dar.

4.2.1 Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges

Das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges besagt, dass eine konstante Kraft einer bestimmten Masse eine umso höhere Endgeschwindigkeit verleiht, je länger die Kraft auf die Masse einwirkt. Dieses Prinzip gilt logischerweise besonders für Bewegungen, bei denen ein (Wurf-)Objekt eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit erreichen muss. Paradebeispiele hierfür sind etwa der Diskuswurf oder das Kugelstoßen. Wichtig ist, dass die Länge und die Richtung des Beschleunigungsverlaufs optimal gestaltet werden. Das heißt nicht zwingend, dass während der Beschleunigungsphase immer der größtmögliche Weg zurückgelegt oder die genaue Abwurfrichtung eingehalten werden muss. Sofern der Beschleunigungsweg aus sportartspezifischen Gründen zeitlich oder räumlich begrenzt ist (z.B. beim Start eines 100m-Laufs), besitzt das Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges keine Relevanz. Hier kommt das nächste Prinzip mehr zum Tragen.

4.2.2 Prinzip der Tendenz des optimalen Beschleunigungsverlaufs

Bei diesem Prinzip kommt es darauf an, ob der Beschleunigungsweg in minimaler Zeitdauer ablaufen oder eine maximale Endgeschwindigkeit erreicht werden soll. Ist ersteres der Fall, müssen am Anfang der Beschleunigungsphase die größten Beschleunigungskräfte auftreten, man spricht hier von einer abfallenden Tendenz des Beschleunigungsverlaufs. Ist eine maximale Endgeschwindigkeit gefordert, müssen erst zum Ende der Beschleunigungsphase die größten Beschleunigungskräfte wirken. Hier spricht man schließlich von einer ansteigenden Tendenz des Beschleunigungsverlaufs. Für einen Sprinter ist es siegentscheidend in der kürzest möglichen Zeit eine relativ weite Strecke zurückzulegen, weshalb er die abfallende Tendenz des Beschleunigungsverlaufs wählen sollte. Ein Kugelstoßer, der seiner Kugel am Ende der Beschleunigungsphase die höchste Geschwindigkeit verleihen muss, muss eine ansteigende Tendenz des Beschleunigungsverlaufs wählen.

4.2.3 Prinzip der Anfangskraft

Soll eine Bewegung eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit erzeugen, muss zunächst eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung eingeleitet werden. Durch das Abbremsen dieser entgegengesetzten Bewegung entsteht eine so genannte Anfangskraft, durch die der Kraftstoß bzw. der Impuls vergrößert wird. Dieses Prinzip lässt sich sehr leicht mit einer Körperwaage darstellen. Steht man ruhig auf einer Waage, zeigt sie zunächst das Körpergewicht an. Ein schnelles Absinken des Körpers führt dazu, dass deutlich weniger Gewicht angezeigt wird. Beim Abstoppen der Bewegung wird die Waage für einen Moment lang einen Wert anzeigen, der deutlich (bis zu einem Vielfachen) über dem Körpergewicht liegt. Diese erhöhte Kraft ist die Anfangskraft und steht nur für den Bruchteil einer Sekunde zur Verfügung. Damit die Energie der Anfangskraft nicht verpufft, ist es deshalb elementar, die Auftaktbewegung schnell zu gestalten. Aber: Auch hier ist eine Maximierung des Anfangskraftwertes nicht zwingend zielführend. Bremskraftstoß und Beschleunigungskraftstoß müssen in einem optimalen Verhältnis stehen, wenn eine maximal mögliche Leistung generiert werden soll.

4.2.4 Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen

Das Prinzip der zeitlichen Koordination von Einzelimpulsen oder Teilimpulsen besagt, dass einzelne Bewegungen optimal ineinandergreifen und zeitlich perfekt aufeinander abgestimmt sein müssen. Ein Beispiel aus dem Fitnessstudio: Bei Box Jumps ist es notwendig, dass der Impuls, der den Körper abheben lässt, nicht nur aus den Beinen erzeugt wird, sondern auch unter Zuhilfenahme der Arme. Eine zeitlich gut koordinierte schwungvolle Armbewegung nach oben verleiht dem Körper einen zusätzlichen Impuls nach oben und die Sprunghöhe wird somit noch einmal erhöht. Wird die Armbewegung allerdings zu früh oder zu spät eingesetzt, trägt sie nicht zur Impulserhöhung bei.

4.2.5 Prinzip der Gegenwirkung und des Drehrückstoßes

Das Prinzip der Gegenwirkung und des Drehrückstoßes basiert auf dem dritten Newtonschen Gesetz der Gegenwirkung. Es besagt, dass jede Kraft immer auch eine entgegengesetzte Kraft in gleichem Ausmaß erzeugt. Dies gilt für Translations- als auch Rotationsbewegungen. Beim Sprinten ist beispielsweise die Kraft, die vom Boden auf den Sprinter einwirkt, identisch mit der Kraft, die der Sprinter auf den Boden auswirkt.

Der Drehrückstoß ist besonders bei Bewegungen notwendig, bei denen das Gleichgewicht wiederhergestellt werden soll. Beispielsweise können die Arme durch das Schwingen nach hinten bzw. in Gegenrichtung einen Sturz vermeiden bzw. dabei helfen. Dies geschieht zumeist reflektorisch.

4.2.6 Prinzip der Impulserhaltung

Das Prinzip kommt im Sport hauptsächlich bei Drehbewegungen zum Einsatz, weshalb auch vom Prinzip der Drehimpulserhaltung gesprochen wird. Dieses besagt, dass durch Annäherung der Extremitäten an eine Drehachse die Drehbewegung ohne Veränderung des Krafteinsatzes beschleunigt werden kann. Es kommt gewissermaßen zu einer Vergrößerung der Winkelgeschwindigkeit durch Verkleinerung des Trägheitsmoments infolge der Annäherung der Masseteile an die Drehachse. Ein Paradebeispiel für dieses Prinzip ist die Pirouette beim Eiskunstlaufen. Durch das enge Anlegen der Arme an den Körper erhöht sich die Drehbewegung um die Körperlängsachse deutlich.

4.3 Bedeutung für die Praxis

4.3.1 Seilzüge

Bei Seilzügen ist zwischen festen und losen Rollen zu unterscheiden. Feste Rollen dienen lediglich als Umlenkrollen, jedoch ändert sich hierdurch nicht die Kraft, die benötigt wird, um das Gewicht zu bewegen. Lose Rollen dagegen verringern die benötigte Kraft um ein Gewicht zu bewegen. Bei einem so genannten Potenzflaschenzug wird eine Krafteinsparung mittels loser Rollen erreicht. Die Kraft, die benötigt wird, um das Gewicht zu bewegen, errechnet sich anhand der nachfolgenden Formel:

$$F_z = \frac{F_G}{n}$$

F_z steht dabei für die aufzubringende Kraft, F_G für die Last des zu bewegenden Gewichtes und n für die Anzahl der tragenden Seile.