# *Theoretische Grundlagen*

*Zusammenfassung des physikalischen Hintergrundwissens zum*

*Thema: Turnen: Ringe*

## Energieformen

Zur biomechanischen Betrachtung des Ringeturnens sind die potentielle Energie $E_{pot}$ und die kinetische Energie $E_{kin}$ wichtig. Beides sind mechanische Energieformen, $E_{pot}$ wird auch als Lageenergie, $E_{kin}$ als Bewegungsenergie bezeichnet. Sie lassen sich über folgende Formeln berechnen:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Hierbei bezeichnet $m$ die Masse $[\mathrm{kg}]$, $g$ die Erdbeschleunigung $\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$, $h$ die Höhe $[\mathrm{m}]$, v die Geschwindigkeit $\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$.

Die potentielle Energie hängt, da $m$ und $g$ in der Regel konstant sind, nur von der Höhe des Körpers ab. Um eine Höhe zu messen, braucht man ein Bezugsniveau $h_0$ mit bekannter Höhe. Dieses ist frei wählbar, man könnte z.B. den Meeresspiegel als Nullniveau wählen. Es ist jedoch sinnvoll ein möglichst einfaches Bezugsniveau festzulegen, um Berechnungen nicht unnötig kompliziert zu machen. Beim Turnen an den Ringen bietet es sich an, Das Bezugsniveau auf die niedrigste Lage des Körperschwerpunkts (KSP) zu legen. Diese wird erreicht, wenn der Turner mit ausgestreckten Armen an den Ringen hängt (vgl. Abb. 1).

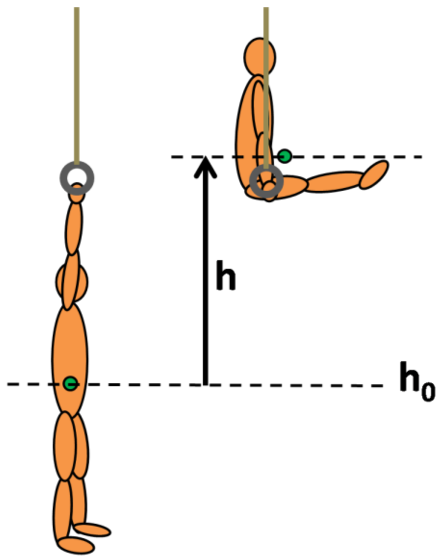


Abb. 1: Wahl des Bezugsniveaus und dazugehörige Höhe im beim Turnen an den Ringen

Die kinetische Energie hängt entsprechend nur von der Geschwindigkeit ab. Die Geschwindigkeit bezieht sich auf den KSP.

Die mechanische Gesamtenergie $E_{ges}$ ergibt sich als Summe der beiden Energieformen:

$$E_{ges} = E_{pot} + E_{kin}$$

 

## Energieerhaltungssatz

Der Energieerhaltungssatz sagt aus, dass in einem abgeschlossenen System keine Energie verloren geht, sondern nur umgewandelt werden kann.

Beim Pendeln en den Ringen liegt die mechanische Energie des Gesamtsystems periodisch in potentieller und kinetischer Energie vor. Durch Reibung (Luftreibung, Reibung am Aufhängepunkt der Ringe, …) wird jedoch ein Teil der mechanischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Die mechanische Energie ist deshalb nicht erhalten.

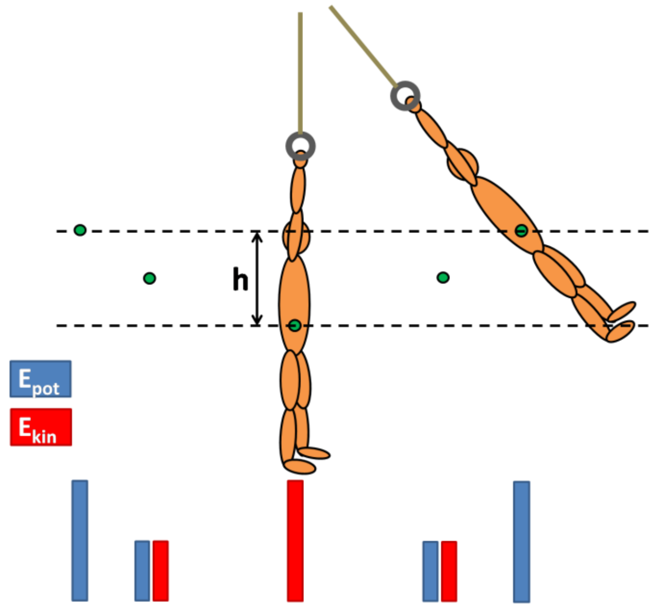


Abb. 2: Pendelbewegung am Reck. Verschiedene Lagen des KSP mit zugehörigem Anteil potentieller und kinetischer Energie.

Die Pendelbewegung stoppt, sofern der Turner dem System nicht durch aktive Schwungbewegungen mechanische Energie zuführt.

Durch den Höhenunterschied des KSP zwischen dem höchsten und dem tiefsten Punkt lässt sich die mechanische Energie des Turners bestimmen.

Im tiefsten Punkt der Pendelbewegung liegt nur kinetische Energie vor, im höchsten Punkt nur potentielle. In allen anderen Positionen liegt eine Mischform der beiden Energieformen vor. Auf halber Höhe ist die mechanische Energie des Turners je zur Hälfte potentiell und kinetisch (vgl. Abb. 2).

### Mathematisches und physikalisches Pendel

Ein Turner, der an den Ringen pendelt, verliert mit der Zeit, aufgrund von Reibung einen Teil seiner Höhe. Er wird langsamer und schwingt nicht mehr so hoch. Das physikalische Pendel ist die Beschreibung eines Pendelvorgangs mit mechanischem Energieverlust, also der Berücksichtigung von Reibung.

Zur einfacheren Berechnung setzt man jedoch oft den idealen Fall ohne Reibung voraus. Es handelt sich dann um das mathematische Pendel, welches im Sport oder anderen sichtbaren Bewegungen in der Realität nicht vorkommt.

## Rotation

Unter Rotation versteht man eine Bewegung, bei der alle Punkte eines Körpers in gleicher Zeit gleiche Winkel ($\alpha$) durchstreichen. Beim Pendeln an den Ringen ist die Achse die gedachte Verbindung der Befestigungspunkte der Ringseile, beispielsweise an der Hallendecke (vgl. Abb. 3).

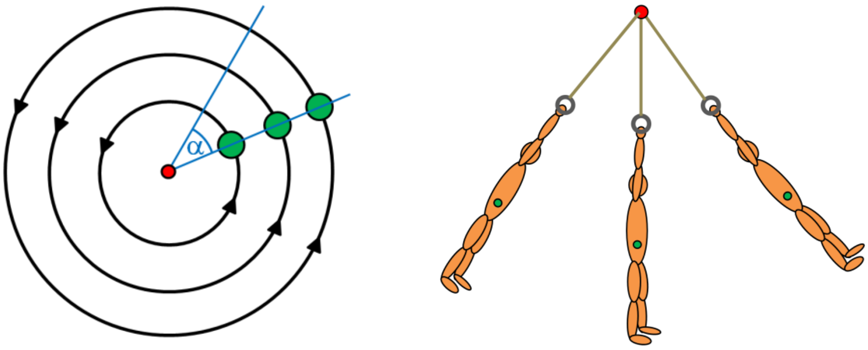


Abb. 3: Rotationsbewegungen. Links eine allg. Darstellung, rechts das Pendeln an den Ringen. Die Rotationsachse ist jeweils rot dargestellt

Weitere Bewegungsbeispiele sind die Riesenfelge am Reck oder eine Pirouette.

Das Gegenstück zur Rotation ist die Translation, bei der sich alle Punkte eines Körpers um dieselbe Streckenlänge auf geraden oder gekrümmten Bahnen fortbewegen. Dies ist z.B. bei einem 100m-Lauf oder beim Skifahren der Fall. Häufig tritt auch eine Mischform von Rotation und Translation auf. Eine Flugrolle am Boden hat beispielsweise eine translatorische und eine rotatorische Komponente.

## Zentripetal- und Zentrifugalkraft

Die Zentripetalkraft tritt bei rotatorischen Bewegungen auf, so auch bei der Pendelbewegung an den Ringen.

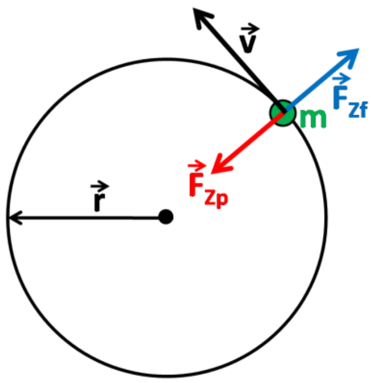


Abb. 4: Zentripetalkraft als Ursache einer Kreisbewegung

Die Zentripetalkraft hält den Körper auf seiner Kreisbahn und ist zum Kreismittelpunkt bzw. zur Drehachse gerichtet. Der Turner fühlt die Zentripetalkraft an den Händen. Er muss sich insbesondere am tiefsten Punkt mit einer stärkeren Kraft an den Ringen halten als ohne Pendelbewegung.

Zentrifugalkraft und Zentripetalkraft sind in entgegengesetzte Richtungen gerichtet. Welche Kraft zu spüren oder zu beobachten ist, hängt davon ab, in welchem Bezugssystem man sich befindet. Von außen betrachtet wirkt eine Zentripetalkraft, die den Körper auf eine Kreisbahn zwingt. Bewegt man sich selbst auf der Kreisbahn, wird man scheinbar vom Zentrum wegbeschleunigt.

Die Zentrifugalkraft hat denselben Betrag wie die Zentripetalkraft. Es gilt:

$$\overrightarrow{F_{Zf}} = -\overrightarrow{F_{Zp}}$$

Für den Betrag der Zentripetalkraft $F_Z$ gilt folgende Formel:

$$F_Z = \frac{mv^2}{r}$$

($m$: Masse des Körpers, $\vec{v}$: Geschwindigkeit des Körpers , $\vec{r}$: Radius der Kreisbahn)

Der Geschwindigkeitsvektor eines Körpers auf einer Kreisbahn ist immer tangential zur Bahnkurve gerichtet. Lässt man sich beim Pendeln los, so fliegt man tangential weg.

**Beispielrechnung zur Zentrifugalkraft**

Ein Turner der Masse $m = 75kg$ schwinge an Ringen ($r = 10m$) so, dass sein KSP um $h = 2m$ angehoben wird. Die auf den Turner wirkende Gesamtkraft setzt sich aus der Gewichtskraft und der Zentrifugalkraft zusammen:

$$F_{ges} = F_g + F_Z$$

$$F_{ges} = mg + \frac{mv^2}{r}$$

Die Geschwindigkeit lässt sich über den Energieerhaltungssatz berechnen. Die kinetische Energie im tiefsten Punkt ist gleich der potentiellen Energie in 2m Höhe.

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v^2 = 2gh$$

$$\Rightarrow F_{ges} = mg + \frac{m \cdot 2gh}{r}$$

Mit $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$ ergibt sich:

$$F_{ges} = \left(75 \cdot 10 + \frac{75 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 2}{10}\right) N = (750 + 300)N = 1050N$$

## Drehimpuls

Der Bewegungszustand der Rotation eines Körpers wird durch den Drehimpuls *L* charakterisiert. Der Drehimpuls ist das Produkt aus dem Trägheitsmoment $\theta$ (auch Massenträgheitsmoment genannt) der sich drehenden Masse $m$ und der Winkelgeschwindigkeit ω. *L* und ω können auch als vektorielle Größen aufgefasst werden, da sie in eine Richtung zeigen.

$$\vec{L} = \theta \cdot \vec{\omega}$$

Das Trägheitsmoment $\theta$ ist im Falle einer Punktmasse gleich dem Produkt aus der Masse *m* und dem Quadrat des Abstands *r* zur Drehachse.

$$\theta = m \cdot r^2$$

Die Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}$ ergibt sich, analog zur Geschwindigkeit, aus dem überstrichenen Winkel $\Delta\varphi$ pro Zeit $\Delta t$.

Für den Betrag der Winkelgeschwindigkeit gilt:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Aufgrund des Zusammenhangs $\vec{L} = \theta \cdot \vec{\omega}$ kann durch eine Änderung des Trägheitsmoments $\theta$ die Winkelgeschwindigkeit variiert werden. Eine Verkleinerung von $\theta$ führt zu einer Vergrößerung von $\vec{\omega}$, eine Vergrößerung von $\theta$ führt umgekehrt zu einer Verkleinerung von $\vec{\omega}$.

Das Trägheitsmoment lässt sich nur über den Radius variieren, denn die Masse des Turners ist konstant. $\theta$ wird umso kleiner, je näher der Turner seine Masse an die Drehachse bewegt und umso größer, je weiter er sie von der Drehachse entfernt.

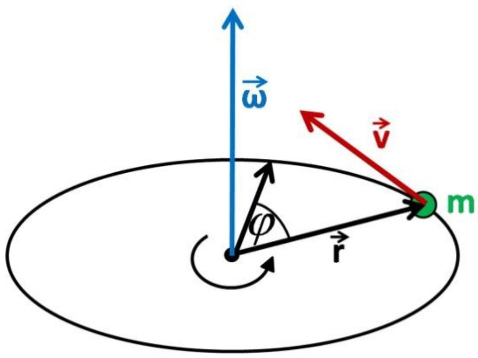


Abb. 5: Drehimpuls und Winkelgeschwindigkeit

In Abb. 6 sind Trägheitsmomente für unterschiedliche Körperhaltungen dargestellt. Verglichen mit der Körperlängsachse ist das Trägheitsmoment um die Körperbreitenachse in gehockter Position viermal und in gestreckter Position zwölfmal so groß.

Der Salto rückwärts an den Ringen ist somit am einfachsten, wenn man sich möglichst klein macht, also die Körpermasse (Arme und Beine) möglichst nah an die Drehachse führt. Wenn durch eine Verkleinerung des Trägheitsmoments die Winkelgeschwindigkeit groß genug wird, können auch doppelte oder dreifache Salti gesprungen werden (vgl. beispielsweise auch Pirouetten beim Eiskunstlaufen).

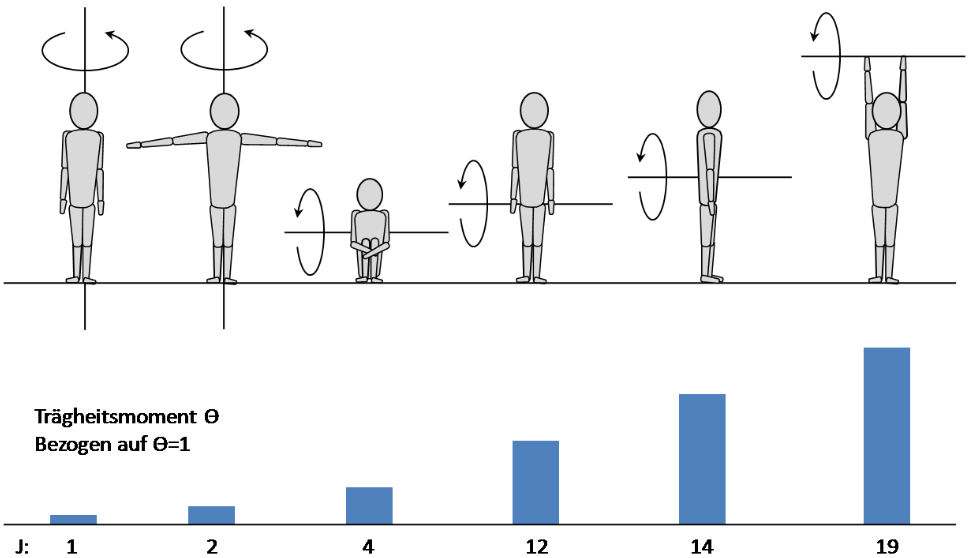


Abb. 6: Trägheitsmomente bei verschiedenen Körperhaltungen (mod. nach Bäumler, G. & Schneider, K., 1981)