

# Theoretische Grundlagen

Zusammenfassung des physikalischen Hintergrundwissens zum  
Thema: *Gymnastik: Ball und Seil*

## Winkelgeschwindigkeit und Frequenz

Die **Winkelgeschwindigkeit**  $\vec{\omega}$  ist eine vektorielle Größe. Sie ergibt sich, analog zur Geschwindigkeit, aus dem überstrichenen Winkel  $\Delta\varphi$  pro Zeit  $\Delta t$ :

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

Mit der Winkelgeschwindigkeit lässt sich beim Rope Skipping beispielsweise die Bewegung des Sprungseils charakterisieren, welches sich auf einer Kreisbahn bewegt. Bei einer Umdrehung überstreicht das Seil einen Winkel von  $360^\circ$  bzw.  $2\pi$ . Die Einheit der Winkelgeschwindigkeit ist  $\frac{^\circ}{s}$  oder  $\frac{rad}{s}$ .

Eine weitere Möglichkeit zur Charakterisierung der Rotation ist die Betrachtung der Umlauffrequenz  $f$ . Die **Frequenz** gibt die Anzahl periodisch ablaufender Vorgänge pro Zeiteinheit an. Beim Rope Skipping kann die Frequenz durch die Anzahl  $n$  der Seilumdrehungen pro Sekunde ausgedrückt werden. Es gilt:

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

In der Musik wird die Frequenz häufig in der Einheit bpm (beats per minute) angegeben, also in Schlägen pro Minute.

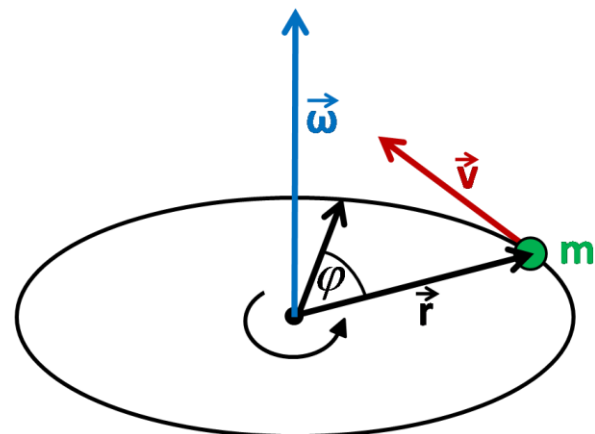


Abb. 1: Winkelgeschwindigkeit und Komponenten der Kreisbewegung

## Zentripetal- und Zentrifugalkraft

Die Zentripetalkraft tritt bei rotatorischen Bewegungen auf, z.B. bei der Bewegung des Sprungseils beim Rope Skipping oder wenn man ein Seil um den Körper kreisen lässt. Sie ist eine physikalische Kraft, die an einem Körper angreift, der sich auf einer kreisförmigen Bahn bewegt. Die Zentripetalkraft hält den Körper auf seiner Kreisbahn und ist zum Kreismittelpunkt bzw. zur Drehachse gerichtet.

Ein Seilspringer fühlt die Zentripetalkraft an den Händen. Das Seil muss mit einer Kraft zum Zentrum ständig beschleunigt werden, um weiter auf einer Kreisbahn zu bleiben.

Zentrifugalkraft und Zentripetalkraft sind entgegengesetzt gerichtet. Welche Kraft zu spüren oder zu beobachten ist, hängt davon ab, in welchem Bezugssystem man sich selbst 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 weg beschleunigt. Die Zentrifugalkraft hat denselben Betrag wie die Zentripetalkraft. Es gilt:

$$\vec{F}_{Zf} = -\vec{F}_{Zp}$$

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 z.B. ein rotierendes Seil los, so fliegt es tangential weg.

Durch Umformen mittels der Beziehung  $v = \omega r$  kann die Zentripetalkraft ebenfalls folgendermaßen beschrieben werden:

$$F_Z = m\omega^2 r$$

## Reibung

Reibung entsteht an der Grenzfläche zweier Körper. Für die Größe der Reibung ist die Beschaffenheit der Oberflächen entscheidend. Je glatter die Oberflächen sind, desto weniger Reibung entsteht. Man unterscheidet Haft- und Gleit- und Rollreibung, wobei die Haftreibung die größte ist. Haftreibung existiert, wenn ein Körper bezüglich seiner Kontaktfläche keine Geschwindigkeit hat (z.B. ein stehender Sportler auf dem Hallenboden). Sobald der Körper sich bezüglich der Kontaktfläche bewegt, liegen Gleitreibung (z.B. Skifahren über den Schnee) oder Rollreibung (z.B. ein rollender Ball) vor.

Allgemein gilt folgende Formel für die Reibungskraft  $F_R$ :

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Dabei bezeichnet  $F_N$  die (Normal-)Kraft, die der Körper senkrecht auf die Reibungsfläche ausübt. Es ist in der Regel die senkrechte Komponente der Gewichtskraft.

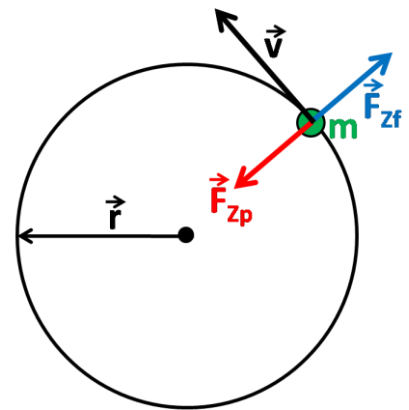


Abb. 2: Zentripetalkraft als Ursache einer Kreisbewegung

Der Reibungskoeffizient  $\mu$  ist abhängig vom Material und der Oberflächenbeschaffenheit (vgl. Abb. 3 und 4). Zum Beispiel verringert Schweiß an den Handflächen den Reibungskoeffizienten. Um die Haftreibung zu erhöhen, wird deshalb beim Turnen und beim Klettern Magnesia benutzt. Je nachdem, ob es sich um Haft- Gleit- oder Rollreibung handelt, unterscheiden sich die Reibungskoeffizienten.

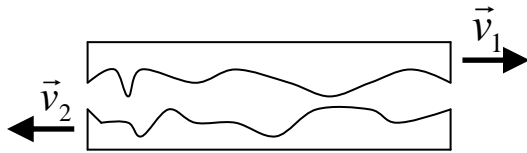


Abb. 3: Kontaktflächen zweier Körper mit großem Reibungskoeffizient

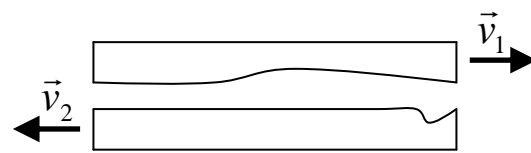


Abb. 4: Kontaktflächen zweier Körper mit kleinem Reibungskoeffizient

Für die Rollreibung gilt die Formel:

$$F_R = c_R \cdot F_N$$

Dabei bezeichnet  $c_R$  den Rollreibungskoeffizient in Analogie zum Reibungskoeffizient. Mit dem Koeffizient werden unter anderem die Verformung des sich abwälzenden Körpers, die Oberflächenbeschaffenheit und die Geometrie berücksichtigt.

## Stoßprozesse und Impulserhaltung

Ein Stoß ist eine kurze Wechselwirkung zwischen Körpern (Stoßpartnern), bei der sich die Geschwindigkeit, der Impuls und die Energie der Stoßpartner ändern können. Bei einem Stoß gilt die Impulserhaltung, d.h. vor und nach dem Stoßprozess ist der Gesamtimpuls gleich. Der Impuls ist das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit eines Körpers.

$$p = m \cdot v$$

Die Impulserhaltung bei einem Stoß zweier Körper lässt sich in der folgenden Formel festhalten:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

Der Index bezeichnet jeweils den Körper, die gestrichenen Größen beziehen sich auf den Zeitpunkt nach dem Stoß. Geschwindigkeit und Impuls sind vektorielle Größen, auf die Darstellung mit Pfeil wird an dieser Stelle zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet. Stoßprozesse lassen sich in elastische und unelastische Stöße einteilen.

## Elastischer Stoß

Bei einem elastischen Stoß gilt neben der Impulserhaltung auch die Erhaltung der kinetischen Energie. Zwei identische Kugeln, die mit gleicher Geschwindigkeit zentral aufeinandertreffen, bewegen sich nach dem Stoß mit entgegengesetzten, betragsmäßig gleichen Geschwindigkeiten (Abb. 5).

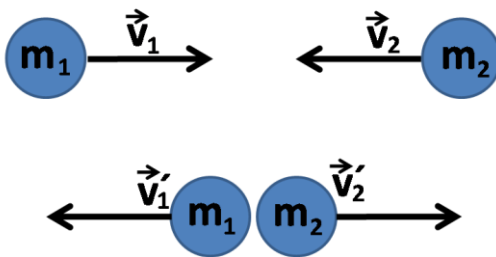


Abb. 5: elastischer Stoß zweier Kugeln

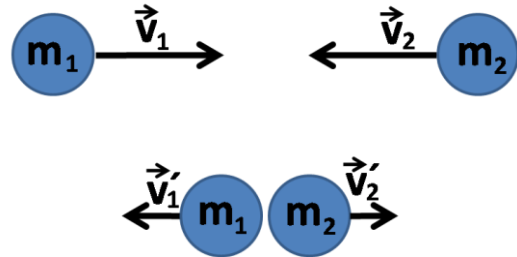


Abb. 6: unelastischer Stoß zweier Kugeln

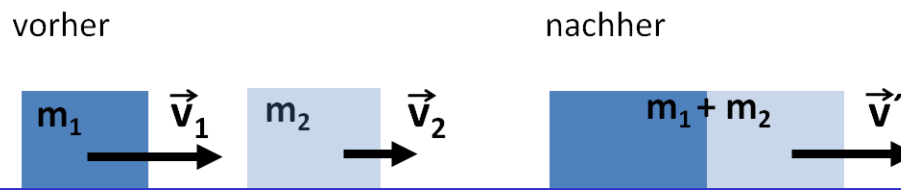


Abb. 7: unelastischer Stoß zweier Massen

## Unelastischer Stoß

Für einen unelastischen Stoß gilt nur die Impulserhaltung, ein Teil der kinetischen Energie wird beim Stoßprozess in Wärme umgewandelt oder wird zur Verformung des Körpers benötigt. Die Geschwindigkeit der Stoßpartner verringert sich nach dem Stoß (vgl. Abb. 6). Die Stoßpartner können auch vollständig zum Ruhen kommen. Die Impulserhaltung ist dann nicht verletzt! Der Impuls ist eine vektorielle Größe, aufgrund der entgegengesetzten Geschwindigkeiten der Kugeln, ist der Gesamtimpuls gleich null.

Ein Beispiel kann durch zwei PKW dargestellt werden: Ein Auto fährt in ein langsamer fahrendes Fahrzeug hinein. Beide verkeilen sich und bewegen sich mit der gleichen Geschwindigkeit weiter (Abb. 7).

Ein realer Stoß zwischen zwei Massen stellt immer eine Mischform aus elastischem und unelastischem Stoß dar.

## Elastizitätszahl

Mit der Elastizitätszahl  $e$  lässt sich der „Energieverlust“ eines aufprallenden Balles veranschaulichen. Sie ist der Quotient aus der Höhe nach und vor dem Stoß:

$$e = \frac{h_2}{h_1}$$

Sie nimmt Werte zwischen 0 und 1 an.

Die Elastizitätszahl lässt sich leicht mit einem Maßband bestimmen. Wenn man den Ball aus 1m Höhe fallen lässt, ist nicht einmal eine Rechnung notwendig.

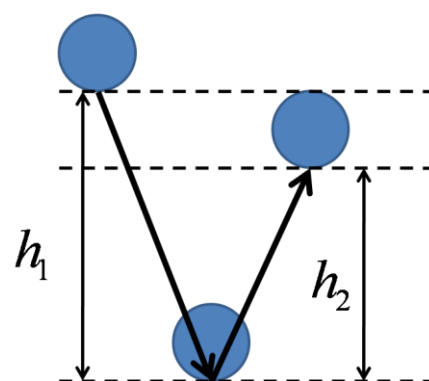


Abb 8: Elastizitätszahl eines Balls