

Kapitel 1

PUNKTMECHANIK

LERNZIELE

- Definition der physikalischen Begriffe Körper, Masse, Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft.
- Newtons Axiome
- Die Benutzung eines Bezugssystems / Koordinatensystems.
- Unterschiede zwischen den physikalischen Begriffen und der Alltagssprache.

INHALT

Körper

Ein Körper ist ein abgegrenztes Objekt, das eine Masse trägt. Bei Punktmassen kann man den Ort des Körpers direkt einem Punkt im Raum zuordnen. Bei ausgedehnten Körpern verwendet man den Schwerpunkt, um den Ort des Körpers anzugeben. Bei der Bewegung ausgedehnter Körper folgt der Schwerpunkt einer Bahnkurve, die auch eine Punktmasse gleicher Masse nehmen würde. Daher ist die Wahl des Schwerpunktes zur Beschreibung des Ortes eines ausgedehnten Körpers besonders geeignet.

Masse

Die Masse eines Körpers kann über die Trägheit des Körpers gegenüber Beschleunigungen gemäß dem zweiten Newtonschen Axiom bestimmt werden. Eine andere Möglichkeit, die Masse zu bestimmen ist über die Gravitationswirkung auf den Körper, wie man es beim Wiegen tut. Die Masse eines Körpers darf nicht verwechselt werden mit der Gewichtskraft die der Körper im Gravitationsfeld der Erde erfährt. Daher ist Gewicht und Masse eines Körpers in der Fachsprache voneinander zu unterscheiden.

Bezugssystem

Der Ort eines Teilchens kann quantitativ nur angegeben werden, wenn man ein Koordinatensystem als Bezugssystem einführt. Im dreidimensionalen Raum verwendet man Vektoren, um den Ort anzugeben. Der sogenannte Ortsvektor \vec{r} zeigt vom Koordinatenursprung auf den Punkt an dem sich der Körper befindet.

Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit wird in der Physik immer relativ zu einem gewählten Koordinatensystem bzw. Bezugssystem angegeben. Sie ist definiert als die Ableitung des Ortsvektors nach der Zeit.

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Dabei ist $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ die Differenz von zwei Ortsvektoren zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Die Geschwindigkeit ist daher abhängig von der Wahl des Bezugssystems. Das Zeitintervall $\Delta t = t_2 - t_1$ lässt man gegen Null konvergieren. Dabei ist \vec{r}_1 der Ortsvektor des Punktes zum früheren Zeitpunkt t_1 und \vec{r}_2 der Ortsvektor des Punktes zum späteren Zeitpunkt t_2 .

Verwendet man ein kartesisches Koordinatensystem mit dem Ortsvektor $\vec{r} = (x, y, z)$, dann berechnet man die Geschwindigkeitskomponenten v_x, v_y, v_z durch die Ableitungen

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

usw.. Insbesondere, wenn man ein eindimensionales Problem hat, betrachtet man in der Physik die Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung v_x . Ein positives v_x bedeutet eine Bewegung in positiver Richtung der gewählten x-Achse. Ein negatives v_x bedeutet eine Bewegung entgegen der gewählten Richtung der x-Achse. Für das Vorzeichen der Geschwindigkeit v_x ist die gewählte Richtung der x-Achse entscheidend.

Oft wird in eindimensionalen Problemen auch vereinfacht v geschrieben, das leicht mit dem Betrag der Geschwindigkeit verwechselt werden kann. Besonders starke Verwirrung stiftet die Schreibweise

$$v = \frac{ds}{dt}$$

zusammen mit der Sprechweise Geschwindigkeit sei die Ableitung des Weges nach der Zeit. Wege (Strecken) haben immer positives Vorzeichen, so dass es in diesem Fall nur positive Geschwindigkeiten geben könnte, mit denen man aber eindimensionale Probleme in der Physik nicht vollständig beschreiben kann.

Alltagsbegriff Tempo

Die Geschwindigkeit darf nicht verwechselt werden mit dem in der Alltagssprache verwendeten Geschwindigkeitsbegriff den wir hier zur Unterscheidung „Tempo“ nennen wollen. Tempo wird im Alltag nur für Relativbewegungen von Körpern zueinander verwendet (z.B. Auto relativ zur Straße) es ist keine vektorielle Größe und es ist immer positiv. Zur

Ermittlung des Tempos bedarf es keines Bezugssystems. Im Alltag argumentiert man in der Regel ohne Bezugssysteme und diskutiert nur Größen, die in allen Bezugssystemen gleich sind.

Beschleunigung

Die Beschleunigung ist definiert als die Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit. Dies ist der Vektor

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Dabei ist $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ die Differenz von zwei Geschwindigkeiten zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Das Zeitintervall $\Delta t = t_2 - t_1$ lässt man gegen Null konvergieren. Dabei ist \vec{v}_1 die Geschwindigkeit des Punktes zum früheren Zeitpunkt t_1 und \vec{v}_2 die Geschwindigkeit des Punktes zum späteren Zeitpunkt t_2 .

Das Ergebnis ist ein Vektor der in Richtung der Geschwindigkeitsänderung zeigt. Wird ein Körper schneller dann zeigt der Beschleunigungsvektor in Bewegungsrichtung. Wird ein Körper langsamer dann zeigt der Beschleunigungsvektor entgegen der Bewegungsrichtung. Wird ein Körper abgelenkt, ohne dass er dabei schneller oder langsamer wird, dann steht der Beschleunigungsvektor senkrecht auf der Bewegungsrichtung. Dies ist z.B. der Fall bei Kreisbewegungen die mit konstantem Tempo (Geschwindigkeitsbetrag) durchlaufen werden. Der Beschleunigungsvektor zeigt bei einer solchen Kreisbewegung immer auf den Mittelpunkt des Kreises. Man bezeichnet bei dieser Kreisbewegung die nach innen zeigende Beschleunigung auch als Zentripetalbeschleunigung.

Hat man ein kartesisches Koordinatensystem gewählt, dann ist die x-Komponente der Beschleunigung a_x gleich der Ableitung von v_x nach der Zeit

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}$$

Die Beschleunigung ist grundsätzlich abhängig von der Wahl des Bezugssystems, sie ist aber in allen Inertialsystemen gleich. Da sie in allen Inertialsystemen gleich ist, ist sie für allgemeingültige physikalische Aussagen in Inertialsystemen geeignet.

Alltagsbegriff Tempoänderung

Änderungen des im Alltag als „Geschwindigkeit“ bezeichneten Tempos sind keine Beschleunigungen im physikalischen Sinne. Die im Alltag als „Beschleunigung“ bezeichnete Zunahme des Tempos hat nicht direkt etwas mit der physikalischen Beschleunigung zu tun. Nur wenn die vektorielle Beschleunigung \vec{a} parallel zur vektoriellen Geschwindigkeit \vec{v} orientiert ist, ist der Betrag von \vec{a} das, was wir im Alltag mit „Beschleunigung“ meinen. Physikalische Beschleunigungen können jede beliebige Richtung zur Geschwindigkeit eines Körpers haben und damit Richtungsänderungen und Tempoänderungen und Kombinationen aus beidem beschreiben. Für die Formulierung von allgemeingültigen physikalischen Gesetzen sind Tempo und Tempoänderung nicht zu gebrauchen.

Inertialsysteme

Inertialsysteme sind eine spezielle Auswahl von Bezugssystemen. Ein Inertialsystem ist ein Bezugssystem in dem jeder Körper seinen Zustand der Ruhe oder gleichförmigen Bewegung entlang einer Geraden beibehält, solange er nicht wegen einer einwirkenden Kraft seinen Zustand ändern muss (vgl. Newtons erstes Axiom)

Bewegt sich ein Bezugssystem gegenüber einem Inertialsystem gradlinig gleichförmig und ändert seine Orientierung bzgl. des Inertialsystems nicht, dann ist es ebenfalls ein Inertialsystem.

Bezugssysteme, die gegenüber einem Inertialsystem rotieren oder gradlinig beschleunigt sind, sind keine Inertialsysteme. Nicht-Inertialsysteme nennt man oft auch *beschleunigte Bezugssysteme*.

Newtons erstes Axiom

Newton sagt in seinem ersten Axiom: *ein Körper auf den keine Kraft wirkt, bewegt sich geradlinig gleichförmig*. Dieses Axiom hat eine besondere Bedeutung, denn es erlaubt festzustellen, ob das gewählte Koordinatensystem bzw. Bezugssystem ein Inertialsystem ist. Die Newtonschen Axiome gelten nur in Inertialsystemen! In anderen Systemen kann es zusätzliche Kräfte geben, sogenannte Scheinkräfte, die nicht von anderen Körpern ausgehen und keine Reaktionskraft besitzen. In Bezugssystemen, die keine Inertialsysteme sind gilt der Energieerhaltungssatz nicht! Daher ist es bedeutsam festzustellen, ob es sich bei dem gewählten Bezugssystem um ein Inertialsystem handelt.

Das erste Newtonsche Axiom gibt eine Messvorschrift an, mit der man feststellen kann, ob das Bezugssystem ein Inertialsystem ist. Hierzu betrachtet man einen Körper der sich kräftefrei bewegt. Bewegt er sich geradlinig gleichförmig mit konstanter Geschwindigkeit, dann ist das gewählte Bezugssystem ein Inertialsystem. Bezugssysteme die gegenüber einem Inertialsystem beschleunigt sind oder rotieren sind keine Inertialsysteme. Wir werden im Folgenden nur physikalische Effekte in Inertialsystemen betrachten, da die Verwendung von anderen Systemen eine sehr komplizierte mathematische Beschreibung verlangt.

Kraft

Newton definiert in seinem zweiten Axiom, dem Aktionsprinzip, die Kraft auf einen Körper als

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

Dieser Zusammenhang kann als Messvorschrift für Kräfte auf Körper verstanden werden. Immer wenn ein Körper beschleunigt wird, dann wirkt eine entsprechende Kraft auf ihn genau in der Richtung in die er beschleunigt wird (in die der Beschleunigungsvektor zeigt). Ein Körper der schneller wird, hat einen Beschleunigungsvektor der in Bewegungsrichtung zeigt. Dieser Körper wird durch eine Kraft beschleunigt, die auch in Bewegungsrichtung zeigt. Ein Körper der langsamer wird hat einen Beschleunigungsvektor der entgegen der Bewegungsrichtung zeigt. Er wird durch eine Kraft abgebremst, die entgegen der Bewegungsrichtung wirkt. Ein

Körper der seine Richtung ändert, ohne dabei langsamer oder schneller zu werden, hat einen Beschleunigungssensor der senkrecht zur Bewegungsrichtung steht. Auf diesem Körper wirkt eine Kraft die senkrecht zur Bewegungsrichtung steht und nur die Richtung der Bewegung ändert, ohne den Körper schneller oder langsamer werden zu lassen.

Bei Körpern die sich nicht bewegen sondern in Ruhe bleiben, das heißt bei statischen Situationen, ist die Gesamtkraft auf den Körper immer gleich null. Sonst würde der Körper durch eine Gesamtkraft ja beschleunigt werden. Wirken auf einen Körper Kräfte an verschiedenen Orten des ausgedehnten Körpers, dann kann dies zu mechanischen Spannungen in einem ausgedehnten Körper führen. So etwas gibt es in der Mechanik nicht, da der Körper ja nur aus einem Punkt besteht und daher alle Kräfte an diesem Punkt angreifen müssen. Die vektorielle Summe verschiedener an einer Punktmasse angreifenden Kräfte, ergibt die Gesamtkraft die zu der Beschleunigung des Körpers führt. Dazu werden die Kraftvektoren vektoriell addiert (bei zwei Kräften Kräfteparallelogramm).

Newton's Reaktionsprinzip

Newton sagt in seinem dritten Axiom, dem Reaktionsprinzip, dass Kräfte immer zwischen zwei Körpern wirken. Wenn der Körper A eine Kraft auf den Körper B ausübt, dann ist die Kraft die der Körper B auf den Körper A ausübt, genauso groß und entgegengesetzt gerichtet. In der Physik spricht man deshalb oft auch von Wechselwirkung zwischen zwei Körpern.

Die zwei entgegengesetzte Kräfte, die im Reaktionsprinzip diskutiert werden, wirken immer auf unterschiedliche Körper. Sie dürfen nicht verwechselt werden mit zwei Kräften die auf den selben Körper wirken. Letztere addieren sich einfach zu der Gesamtkraft auf einen Körper.

Das Reaktionsprinzip ist besonders dann wichtig zu betrachten, wenn man ein System von mehreren Körpern untersuchen möchte. Dann hilft es die Kräfte, die zwischen den Körpern wirken, zu berechnen. Betrachtet man dagegen nur einen einzelnen Körper, dann ist die Rückwirkung auf die anderen Körper durch die Reaktionskräfte oft nicht von Interesse.

FRAGEN

- Was ist der Unterschied zwischen einem Inertialsystem und einem beschleunigten Koordinatensystem.
- Nennen sie ein Experiment mit dem man feststellen kann, ob das gewählte Koordinatensystem ein Inertialsystem ist.
- Nennen sie das erste Newtonsche Axiom.
- Wie ist eine Kraft auf einen Körper definiert?

- Wie lautet der Zusammenhang zwischen Kraft auf einen Körper und Beschleunigung des Körpers?
- Was ist der Unterschied zwischen dem physikalischen Begriff Beschleunigung und dem Alltagsbegriff Beschleunigung?
- Nennen sie das zweite Newtonsche Axiom.
- Kann man das Aktionsprinzip auch mit dem Alltagsbegriff Beschleunigung verwenden?
- Wird ein Körper schneller, wenn eine Kraft senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung wirkt? Ist der Körper beschleunigt?
- Wird ein Körper schneller, wenn eine Kraft in Richtung seiner Bewegungsrichtung wirkt? Ist der Körper beschleunigt?
- Wird ein Körper schneller, wenn eine Kraft entgegen seiner Bewegungsrichtung wirkt? Ist der Körper beschleunigt?