

Physik

Newton's Axiome

Slide 1

Inhaltsverzeichnis

1 Die Newtonschen Gesetze	1
1.1 Zielpunkt: Was ist Kraft? Und was ist Masse?	1
1.2 Newtons 3 Gesetze	2
1.3 Historisches	6
1.4 Erdanziehung, Fallbeschleunigung und Masse	6

1 Masse, Beschleunigung und Kraft: Die Newtonschen Gesetze

1.1 Zielpunkt: Was ist Kraft? Und was ist Masse?

Was weiß unsere Black Box nun?

Slide 2

- Wir fliegen weiterhin mit unserem Raumschiff durchs All.
- Unsere neugierige künstliche Intelligenz hat ein bisschen was gelernt:
 - Wie sprechen wir präzise über den Ort von etwas?
 - Wie beschreiben wir Ortsveränderungen mit der Zeit?
 - Das ist die Geschwindigkeit.
 - Wie beschreiben wir Geschwindigkeitsänderungen mit der Zeit?
 - Das ist die Beschleunigung.
- Seine nächste Frage lautet:
 - Nach welchen Gesetzen bewegen sich die Dinge durch den Raum?
- Bisher haben wir nur Definitionen besprochen.
- Nun kommt endlich Physik: Zwei eng verflochtene Begriffe:
 - Was ist Masse?
 - Was ist Kraft?

1.2 Newtons 3 Gesetze

Kugeln in der Schwerelosigkeit

Slide 3

- Wir zeigen ihm 3 Kugeln. Diese heißen **a**, **b** und **c**.
- Wir lassen diese einfach mal los.
- Was wird passieren? Wie werden sie sich bewegen?
 - Falls sie sich anfangs bewegen, fliegen sie einfach immer weiter.
 - Falls sie anfangs ruhen, bleiben sie ewig liegen.

Das erste Newtonsche Gesetz

Ein Körper, auf den nichts einwirkt, ändert seinen Bewegungszustand nicht.

⇒ Um den Bewegungszustand zu ändern, braucht es eine Ursache.

- Diese Ursache nennen wir Kraft.

Definition 1 (Kraft). Kraft ist die Ursache von Beschleunigung.

Es ist wichtig, sich klar zu machen, dass das zu diesem Zeitpunkt tatsächlich nichts anderes als eine Definition ist.

Es ist einfach ein Name für etwas, das es geben sollte: Die Ursache jeder Richtungs- oder Geschwindigkeitsänderung.

Das 1. Newtonsche Gesetz klingt erst einmal absolut trivial: Natürlich braucht es einen Grund, damit sich etwas in Bewegung setzt. Der revolutionäre Gedanke war, dass es einen Grund braucht, damit etwas zur Ruhe kommt und dass der Grund für die Bewegung und der Grund für das Aufhören von Bewegung derselbe ist: Kraft.

Interessant ist auch die implizite Gleichsetzung von ruhenden Körpern und sich gleichförmig bewegenden Körpern. Darauf werden wir noch zurückkommen, wenn es um ruhende und bewegte Koordinatensysteme geht.

Ein bemerkenswerter Punkt ist auch, dass die Einwirkung von außen kommen muss. Wenn Sie zum Beispiel auf einem Floß stehen, können sie herumhampeln wie sie wollen, das Floß wird sich nicht in Bewegung setzen. Erst, wenn sie sich mit einem Fuder vom Wasser abstoßen oder Wind aufkommt, kommen Sie vom Fleck.

Der Begriff der Kraft

Slide 4

- Wir nennen die Ursache der Beschleunigung „Kraft“.
- Wenn wir eine große Beschleunigung sehen, nennen wir die Kraft groß.

- Wir schreiben also

$$F \sim a \quad \text{Was man auch schreiben kann als}$$

$$F = ma$$

Das zweite Newton'sche Axiom

Kraft ist das Produkt aus Masse und Beschleunigung:

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$$

- Noch ist das eine reine Definition.
- Wir beobachten nur a .
- Noch wissen wir nicht, was genau F und m sein sollen.

Wir nehmen also bisher nur an, dass jede Beschleunigung eine Ursache haben muss. Diese definieren wir als proportional zur Beschleunigung. Jede andere Beschreibung würde die Sache nur unnötig verkomplizieren. Das m ist derzeit nichts als eine andere Schreibweise für diese Proportionalität. Dass dieses m eine konstante Eigenschaft jedes Körpers darstellt, gibt der ganzen Überlegung im Nachhinein Sinn, aber im Moment ist das in der Argumentation nicht angelegt.

Weltraumbillard: Identische Kugeln

Slide 5

- Auf unserem Raumschiff gibt es ein kleines Äffchen.
- Wir setzen es zwischen **die identischen** Kugeln a und b :
- Das Äffchen drückt die Kugeln auseinander.
- Hinterher sieht es immer so aus:



Und **immer** gilt $v_a = -v_b$

- Bewegungsrichtung genau entgegengesetzt
- Der Geschwindigkeitsbetrag beider Kugeln ist gleich.
- Die Einwirkung des Äffchens auf die Kugeln ist eine Kraft.
- Wir bezeichnen die Kraft mit der Variablen F .

Das dritte Newtonsche Gesetz

Eine Kraft F ist immer von einer gleich großen entgegengesetzten Kraft $-F$ begleitet.

Diese Überlegung funktioniert, weil aus gleichen (entgegengesetzten) Geschwindigkeiten gleiche (entgegengesetzte) Beschleunigungen folgen. Das ist gegeben, weil das Äffchen gleichzeitig den Kontakt zu beiden Kugeln verliert. Das ist solange der Fall, wie wir annehmen, dass unser Äffchen selbst in der ganzen Sache zu vernachlässigen ist.¹

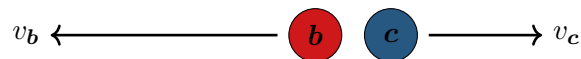
Jedenfalls ist Δt für beide Kugeln gleich und damit auch die Beschleunigung.

Jetzt nehmen wir noch an, dass m für beide Kugeln gleich ist. Alles andere wäre schwer nachzuvollziehen, da wir davon ausgegangen sind, dass die Kugeln a und b in allen Eigenschaften (Material, Größe etc) gleich sind. Kurz gesagt: Gleiche entgegengesetzte Beschleunigung (Beobachtung) + gleiches m (extrem plausible Annahme), daraus folgt mit $F = ma$ gleich große, entgegengesetzte Kräfte.

Eine wichtige Tatsache ist hier auch die Konstanz der Masse. Dies ist einfach eine empirische Beobachtung: Die Kugeln verhalten sich jedesmal gleich, ihr m ändert sich nicht einfach von Mal zu Mal. Wäre das nicht so, hätten wir natürlich eine ganz andere Physik vor uns. In dem Universum, in dem wir leben, ist die Konstanz der Masse einer der Grundpfeiler der Physik.

Ungleiche Kugeln

- Jetzt betrachten wir die Kugeln b und c . Sie sind **nicht** identisch.
- Was Äffchen auch macht, es ergibt sich:



Und immer gilt $v_b = -2v_c$

Das gilt ganz allgemein, die 2 ist Zufall

Andere Kugeln ergeben ein anderes Geschwindigkeitsverhältnis. Aber für ein gegebenes Paar Kugeln ist das Verhältnis immer gleich.

- Dasselbe Verhältnis gilt dann auch für die Beschleunigungen: (Das Äffchen beschleunigt Kugeln b und c die gleiche Zeit Δt)

$$a_b = -2a_c$$

- Wir wissen aber, dass auf beide Kugeln dieselbe Kraft wirkt.

¹Wir nehmen an, dass unser Äffchen sehr leicht ist, $m_{\text{Äffchen}} \approx 0$, jedenfalls im Vergleich zu den großen Kugeln

⇒ Dieselbe Kraft beschleunigt die Kugeln unterschiedlich. Die Kraft muss dieselbe sein, es gilt ja das 3. Newton'sche Gesetz.

- Kugel c setzt der Beschleunigung mehr Widerstand entgegen.

Welche Masse haben die Kugeln?

Slide 7

- Wir haben also 3 Gleichungen:

$$a_b = -2a_c \quad (1)$$

$$F_b = -F_c \quad (2)$$

$$F = ma \quad (3)$$

- Wir setzen (3) in (2) ein:

$$F_b = m_b a_b = -m_c a_c = -F_c$$

- Nun setzen wir wiederum (1) ein:

$$m_b(-2a_c) = -m_c a_c$$
$$2m_b = m_c \Leftrightarrow m_b = \frac{1}{2}m_c$$

⇒ Das m von Kugel c ist doppelt so groß.

Deutung der Masse m

Slide 8

- Kugel c hat ein doppelt so großes m .
- Sie setzt der Beschleunigung doppelt so viel Widerstand entgegen.

Deutung der Masse

Masse ist der Widerstand, den ein Körper der Beschleunigung entgegensetzt.

Die Einheiten von Masse und Kraft

Slide 9

- Die Masse der Kugel b (und a) legen wir fest auf $m_b = 1 \text{ kg}$.

²Und schicken sie nach Paris.

- Dann hat Kugel c die Masse $m_c = 2 \text{ kg}$.
- Das 2. Newton'sche Axiom definiert damit auch die Einheit der Kraft:

$$F = ma$$

$$[F] = \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = \text{N}$$

- Diese Einheit nennen wir nach ihrem Erfinder Newton.

1.3 Historisches

Isaac Newton

- Lebenszeit: Um 1700 (1642–1726)
- englischer Universalgelehrter
- Hauptwerk: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*
= Mathematische Grundlagen der Naturphilosophie
- Gravitationsgesetz + Bewegungsgesetze = Klassische Mechanik
⇒ Aufgrund von Vorarbeiten von Galileo (1564 – 1642).
- entwickelte die Infinitesimalrechnung
⇒ wohl unabhängig davon auch Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716)
– Einer der hässlichsten Streitigkeiten der Wissenschaftsgeschichte.



Abbildung 1: Sir Isaac Newton.

Slide 10

1.4 Erdanziehung, Fallbeschleunigung und Masse

Unsere bisherige Definition der Masse

Wir haben die Masse über die Beschleunigung eingeführt.

Slide 11

Frage: Was ist Masse?

Wie würden wir beschreiben, was dieses ominöse m in unseren Gleichungen bedeutet?

Antwort

Masse ist der Widerstand, den ein Körper der Beschleunigung entgegensetzt.

Man spricht auch von der *trägen Masse*.

Eine wohlvertraute Tatsache

- Auf einen Körper im Schwerfeld der Erde wirkt überall die gleiche Kraft.

⇒ Diese Kraft (=Gewichtskraft F_g) ist proportional zu seiner Masse:

$$F_g = mg \quad \text{mit } g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Daher im Alltag: **Gewicht \approx Masse**

- Wir bekommen eine 2. Definition der Masse!

Slide 12

Eine zweite Definition der Masse

Eben: „Masse = Widerstand gegen Beschleunigung“. Nun:

Frage: Was ist Masse?

Mit Blick darauf, wie wir Masse im Alltag messen, wie würden Sie jetzt Masse definieren?

Antwort

Masse ist das Ausmaß, in dem das Schwerfeld der Erde Kraft auf einen Körper ausübt.

Man spricht auch von der *schweren Masse*.

Slide 13

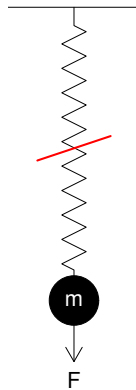


Abbildung 2: m hängt und fällt.

Zwei Messungen derselben Masse

- Im Prinzip müssten die schwere Masse m_s und die träge Masse m_t nicht gleich sein.
- Ein Gewicht hängt an einer Federwaage von der Decke.

Messen durch Erdanziehung (wiegen):

$$F = m_s g \quad (\text{schwere Masse})$$

Messen durch das 2. Newtonsche Gesetz (beschleunigen):

$$F = m_t a \quad (\text{träge Masse})$$

Erst Kraftmessung mit der Federwaage, dann Messen der Beschleunigung durch diese Kraft.

Schwere und träge Masse sind identisch

- wir haben also zwei Gleichungen:

$$F = m_t a \quad \text{und} \quad F = m_s g$$

- Man kann nun gleichsetzen (Kraft ist ja identisch, Gewichtskraft):

$$m_t a = m_s g$$

- Wir messen immer, dass die Beschleunigung a *immer* gleich g ist.

$$a = g$$

- Wir können die Beschleunigung kürzen:

$$m_t = m_s$$

⇒ Schwere und träge Masse sind **immer** identisch. **Die** Masse m .

- Einsteins *allgemeine Relativitätstheorie* vereinigt beide Begriffe.

Slide 16

Folge: Alles fällt gleich schnell

Definition 2 (Das (schwache) Äquivalenzprinzip).

$$a = g$$

Alle Körper fallen gleich schnell, unabhängig von ihrer Masse.

- Körper mit größerer Masse haben eine größere Gewichtskraft.

⇒ werden heftiger beschleunigt.

- gleichzeitig mehr Widerstand gegen die Beschleunigung.
- Das gleicht sich genau aus.
- Insgesamt ist die Beschleunigung also immer:

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

- Dieses g wird oft angegeben, wenn es um Beschleunigungen geht.

Slide 17

Die „Standardbeschleunigung“

Im Freien Fall beschleunigt ein Körper mit der Beschleunigung g :

$$a_{\text{Erde}} = g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Beispiel 3. Wie schnell ist ein Stein, der aus dem Fenster fällt, nach 1,2,3 Sekunden in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ bzw $\frac{\text{km}}{\text{h}}$?

t	$v/\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v/\frac{\text{km}}{\text{h}}$
1 s	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1 \cancel{\text{s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
2 s	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2 \cancel{\text{s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
3 s	$10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \cancel{\text{s}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Ein Beispiel

Beispiel 4 (Ein Blumentopf fällt aus dem Fenster). Ein Blumentopf fällt aus dem Fenster.

Nach welcher Zeit ist er $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ schnell?

$$\begin{aligned} a = g &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ \Rightarrow \Delta t &= \frac{\Delta v}{g} = \frac{100 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{100 \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= \frac{27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,8 \text{ s} \end{aligned}$$

Ein Porsche Carrera braucht das Doppelte, beschleunigt also mit etwa 0,5 g.