

Masse, Trägheit, Kraft – Experimente zum Einstieg in die Mechanik

Axel Donges, Isny im Allgäu

Die **Mechanik** ist die Lehre von den Bewegungen der Körper sowie den dabei wirkenden Kräften. Sie ist eine wichtige Grundlage für die gesamte Physik.

Das Fundament der Mechanik bilden die drei **Newton'schen Axiome**, die **Sir Isaac Newton** im Jahre 1687 in seiner *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Mathematische Prinzipien der Naturlehre) veröffentlicht hat.

In diesem Beitrag erarbeiten sich Ihre Schüler durch Experimente die Aussagen des ersten Newton'schen Axioms (des Trägheitssatzes) sowie des zweiten Newton'schen Axioms (des dynamischen Grundgesetzes). Mit Übungsaufgaben wird das erarbeitete Wissen verfestigt und vertieft.

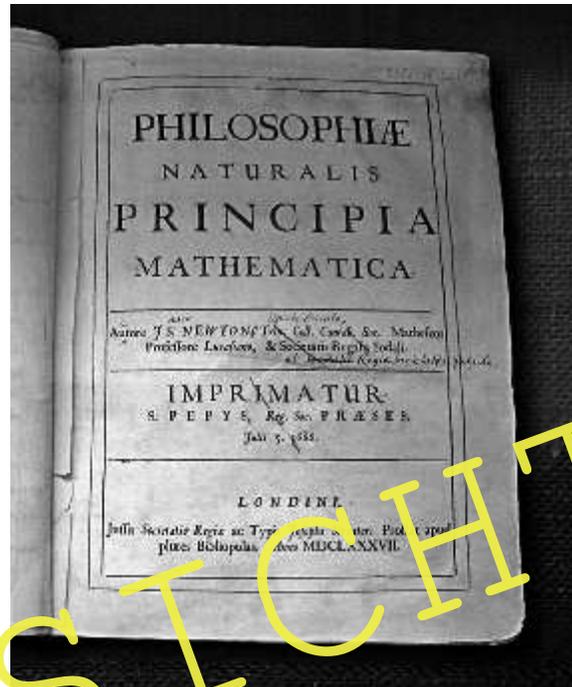


Abb. 1: Das Hauptwerk von Sir ISAAC NEWTON: *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*

**Die Ursache einer
Geschwindigkeitsänderung
ist eine Kraft.**

Der Beitrag im Überblick

<p>Klasse: 8/9</p> <p>Dauer: 8–10 Stunden</p> <p>Ihr Plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Grundlegendes Verständnis der Basis der Mechanik ✓ Schülerversuche 	<p>Inhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schwere Masse, Gewichtskraft • Träge Masse, Trägheitsgesetz • Geschwindigkeit und Beschleunigung • Kraft und dynamisches Grundgesetz
---	---

I/B

© Andrew Dunn, 5. November 2004. Lizenz: CC BY-SA 2.0

Historische und didaktisch-methodische Hinweise

Trägheit und Kraft – ein historischer Rückblick

Der Philosoph **Aristoteles** lebte 484–322 vor Chr. Er machte sich viele Gedanken über die Bewegung von Körpern. Um beispielsweise eine Kutsche zu ziehen, braucht man Pferde. Je mehr Pferde an dem Wagen ziehen, desto schneller fährt er. Deshalb glaubte Aristoteles, dass die Geschwindigkeit eines Körpers proportional zur einwirkenden Kraft sei. Diese Fehlvorstellung findet man noch heute bei vielen Schülern:

- Ein Körper bewegt sich angeblich nur bei ständiger Krafteinwirkung.
- Je größer die Kraft ist, desto größer ist angeblich auch die Geschwindigkeit.

Diese Vorstellung von Aristoteles führt zu einem Problem, wenn man die Bewegung eines Pfeils betrachtet. Sobald der Pfeil nicht mehr in Kontakt mit der Sehne des Bogens ist, übt die Sehne keine Kraft mehr auf den Pfeil aus. Dennoch fliegt der Pfeil – ohne einwirkende Kraft – weiter. Offensichtlich ist eine Bewegung auch ohne Kraft möglich.

Um dieses Problem zu lösen, nahm man an, dass dem Pfeil beim Abschuss eine „innere Kraft“ eingepflanzt wird, die sich während seines Fluges nach und nach verbraucht, bis der Pfeil schließlich zu Boden fällt und zur Ruhe kommt. Diese „innere Kraft“ nannte man **Impetus**.

Es war **Galileo Galilei** (1564–1642), der als erster im Jahre 1638 auf die Idee kam, dass es **Reibungskräfte** sind, die den „Impetus“ schwinden lassen. Ohne Reibung sollte sich daher ein Körper ungebremst immer weiter bewegen. Allerdings nahm Galilei noch fälschlicherweise an, dass diese ungebremste Bewegung auf Kreisen um die Himmelskörper erfolgt. Aber immerhin: Galilei erkannte als erster das **Trägheitsprinzip**.

Fast 50 Jahre später, im Jahre 1687, gelang es **Isaac Newton**, alles zu einem konsistenten Gesamtbild zusammenzufügen.

Er erkannte:

- Anders als Aristoteles dachte, kommt ein kräftefreier Körper nicht zur Ruhe.
- Anders als Galilei annahm, bewegt sich ein kräftefreier Körper nicht auf Kreisbahnen um Himmelskörper.

- Sondern:

Ein **kräftefreier Körper** bewegt sich **geradlinig** mit **konstanter Geschwindigkeit**.

- Und: Wirkt eine **Kraft** auf einen Körper, so bewirkt diese eine **Geschwindigkeitsänderung**.



Abb. 2: Briefmarke mit dem Konterfei von Isaac Newton

© Shutterstock/
Olga Popova

Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

In den Materialien **M 1** und **M 2** stellen Ihre Schüler durch ein Experiment fest, dass auf einen massebehafteten Körper eine Gewichtskraft wirkt. Sie können diese Gewichtskraft berechnen. In den Materialien **M 3** und **M 4** erkennen die Lernenden, dass ein massebehafteter Körper träge ist. Sie lernen das Trägheitsgesetz kennen und führen Freihand-Experimente zur Trägheit durch. Es empfiehlt sich, die Freihand-Experimente in Form eines Stationenzirkels (3 Stationen) durchzuführen. In **M 5** werden die physikalischen Größen *Geschwindigkeit* und *Beschleunigung* thematisiert. In den Materialien **M 6** und **M 7** wird ein Beschleunigungsversuch durchgeführt und daraus das dynamische Grundgesetz abgeleitet. **M 8** dient der Lernerfolgskontrolle.

Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physikalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler ...	Anforderungsbereich
F 1–F 4, E 1, E 1, E 4, E 7, E 9, K 2, K 3	... kennen die schwere Masse und können die Gewichtskraft berechnen,	I, II
F 1–F 4, E 1, E 7, K 2	... kennen die träge Masse und das Trägheitsgesetz,	I, II
F 1–F 4, E 1, K 2	... kennen die Begriffe „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ und können damit rechnen,	I, II
F 1–F 4, E 1, E 4, E 7, E 9, E 10, K 2	... kennen das dynamische Grundgesetz und können einfache Aufgaben dazu lösen.	I, II, III

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf der beiliegenden CD-ROM 44.

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt

⌚ D = Durchführungszeit

M 1	Ab, SV	Die schwere Masse
⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Kraftmesser (z. B. bis max 5 N)	<input type="checkbox"/> mehrere (an den Messbereich des Kraftmessers angepasste) Gewichtsstücke
⌚ D: 20 min		
M 2	Ab	Die Gewichtskraft
M 3	Ab	Die träge Masse
M 4	SV	Freihand-Experimente zur Trägheit
⌚ V: 15 min	<input type="checkbox"/> 1 Rolle Klopapier in Halterung	<input type="checkbox"/> 2 Gegenstände (z.B. Holzklötzchen und kleine Schachtel)
⌚ D: 15 min	<input type="checkbox"/> 3 Fäden gleicher Dicke	<input type="checkbox"/> 1 Papierstreifen
M 5	Ab	Geschwindigkeit und Beschleunigung
M 6	SV, Ab	Kraft und Beschleunigung
⌚ V: 15 min	<input type="checkbox"/> 1 Stoppuhr	<input type="checkbox"/> 1 Wagen
⌚ D: 75 min	<input type="checkbox"/> 1 Zollstock	<input type="checkbox"/> 1 Schiene
	<input type="checkbox"/> 1 Faden	<input type="checkbox"/> 1 Umlenkrolle
	<input type="checkbox"/> mehrere Gewichtsstücke	
M 7	Ab	Das dynamische Grundgesetz
M 8	LEK	Teste dein Wissen!

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 13.

I/B

M 1 Die schwere Masse

Die Masse

Die **Masse** ist eine Eigenschaft physikalischer Körper. Ihre Einheit ist das **Kilogramm (kg)**. Beispielsweise hat ein Liter Wasser bei 4° C und Normaldruck eine Masse von 1 kg.

Mit der Masse eines Körpers sind seine **Schwere** und seine **Trägheit** unmittelbar verknüpft. In diesem Material beschäftigst du dich zunächst mit der Schwere der Masse.

Die Schwere

Hebst du einen Körper (z. B. eine Hantel, siehe Abb. 3), so spürst du stets eine zum Boden gerichtete Kraft: die sog. **Gewichtskraft**.

Kurz: Der Körper ist **schwer**.

Man muss nicht Kraftsportler sein, um zu wissen, dass die Gewichtskraft mit zunehmender Masse des Körpers anwächst. Diesen Zusammenhang wirst du im folgenden Experiment untersuchen.



Abb. 3: Zwei Sportler beim Training mit Hanteln

Schülerversuch

⌚ Vorbereitung: 5 min

⌚ Durchführung: 20 min

Materialien

- mehrere Gewichtsstücke (z. B. 100 g, 200 g, 300 g, 400 g, 500 g)
- 1 Kraftmesser (z. B. bis maximal 5 N)

Versuchsaufbau und -durchführung

Ein **Kraftmesser** (siehe Abb. 4) ist ein Messgerät, um Kräfte zu messen. Er zeigt die Kraft in der Einheit „**Newton**“ (N) an.

Aufgaben

1. Hänge verschiedene Gewichtsstücke mit unterschiedlichen Massen an den Kraftmesser an und bestimme die zugehörige Kraft. Trage die Messergebnisse in eine Tabelle ein.
2. Stelle die Messergebnisse in einem Masse-Kraft-Diagramm grafisch dar. Zeichne dann eine Ursprungsgerade in das Diagramm ein, die zu deinen Messpunkten am besten passt.
3. Bestimme die Steigung der Ursprungsgeraden. Welcher formelmäßige Zusammenhang besteht zwischen Kraft und Masse?



Abb. 4: Kraftmesser

Tipp

Achte darauf, dass der Federmesser 0 N anzeigt, wenn kein Körper angehängt ist.

M 4 Freihand-Experimente zur Trägheit

Schülerversuch 1 ⌚ Vorbereitung: 5 min Durchführung: 5 min

Materialien

- 1 Rolle Klopapier in Halterung

Aufgaben

- a) Ziehe langsam (mit wenig Kraft) am Ende einer Klopapierrolle.
Was beobachtest du? Notiere deine Beobachtung.
- b) Ziehe ruckartig (mit viel Kraft) am Ende einer Klopapierrolle.
Was beobachtest du? Notiere deine Beobachtung.



Abb. 9: Rolle Klopapier in Halterung

© Shutterstock/Atomazul

I/B

Schülerversuch 2 ⌚ Vorbereitung: 5 min Durchführung: 5 min

Materialien

- 3 Fäden gleicher Dicke
- 1 Gegenstand (z. B. Holzklötzchen)

Versuchsaufbau und -durchführung

Hänge einen Körper (z. B. einen Holzklötzchen) an einem Faden auf. Binde einen zweiten Faden mit gleicher Reißfestigkeit an diesen Körper (wie in Abb. 10).

Aufgaben

- c) Ziehe langsam (mit wenig Kraft) am unteren Faden.
Was beobachtest du? Notiere deine Beobachtung.
- d) Ziehe ruckartig (mit viel Kraft) am unteren Faden.
Was beobachtest du? Notiere deine Beobachtung.

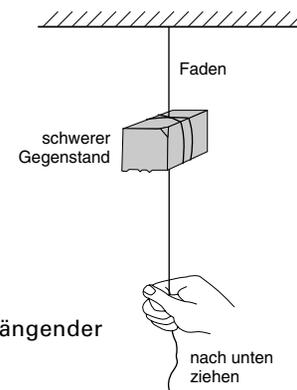


Abb. 10: An einem Faden hängender Körper mit zweitem Faden

Schülerversuch 3 ⌚ Vorbereitung: 5 min Durchführung: 5 min

Materialien

- 1 Papierstreifen
- 1 Gegenstand (z. B. kleine Schachtel)

Versuchsaufbau und -durchführung

Lege auf einen Tisch einen Streifen Papier. Stelle dann auf das Papier einen Gegenstand (Abb. 11).

Aufgaben

- e) Ziehe langsam (mit wenig Kraft) am Papierstreifen.
Was beobachtest du? Notiere deine Beobachtung.
- f) Ziehe ruckartig (mit viel Kraft) am Papierstreifen.
Was beobachtest du? Notiere deine Beobachtung.



Abb. 11: Ein Gegenstand steht auf einem Tisch. Zwischen Gegenstand und Tisch befindet sich ein Papierstreifen.

Foto: A. Donges

M 7 Das dynamische Grundgesetz

Das Experiment in Material **M 6** zeigt im Rahmen der experimentellen Fehlertoleranzen, dass für die Beschleunigung gilt:

$$a = \frac{F}{m} \quad (8)$$

Das bedeutet:

- Die Beschleunigung a eines Körpers wächst mit der Kraft F (im Experiment $m_B \cdot g$) an, die an ihm angreift.
- Außerdem ist die Beschleunigung a des Körpers umgekehrt proportional zu seiner Masse m (im Experiment $m_w + m_B$).



© Shutterstock/dotshock

Abb. 16: Wird ein Körper beschleunigt, muss eine resultierende Kraft auf ihn einwirken.

Die Formel (8) bezeichnet man als **dynamisches Grundgesetz**. Dieses Gesetz wurde in dieser Form erstmals 1750 von **Leonhard Euler** formuliert. Es besagt in Worten:

„Wird die an einem Körper angreifende Kraft F durch seine Masse m geteilt, so ergibt sich seine Beschleunigung a . Die **Richtung** der Beschleunigung stimmt mit der Richtung der Kraft überein.“

Bsp. 1: An einem PKW (Masse $m = 1200$ kg) greift eine Kraft von $F = 1200$ N an. Daher wird das Auto mit $a = 1200 \text{ N} / 1200 \text{ kg} = 1 \text{ N/kg} = 1 \text{ m/s}^2$ beschleunigt. Pro Sekunde steigt daher die Geschwindigkeit um 1 m/s an.

Bsp. 2: An einem Fahrrad (Masse mit Fahrer: $m = 90$ kg) greift keine Kraft an. Daher wird das Fahrrad nicht beschleunigt. Seine Geschwindigkeit ändert sich nicht ($v = \text{konstant}$).

Aufgaben

- Der Sprinter in Abb. 16 startet mit einer Beschleunigung von $3,0 \text{ m/s}^2$.
 - Berechne die beschleunigende Kraft, wenn der Sprinter eine Masse von 80 kg hat.
 - Wie schnell ist er nach 2 Sekunden?
 - Wie weit läuft er in 2 Sekunden?
- Betrachte Gleichung (8). Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Einheit N und den Einheiten kg , m und s ?
- Welche Kraft ist nötig, um ein Auto mit einer Masse von 1200 kg in 10 s aus dem Stand auf eine Geschwindigkeit von 100 km/h zu beschleunigen?
- Auf einen zunächst ruhenden Ball (Masse 450 g) wirkt für $0,6 \text{ s}$ eine Kraft von $9,0 \text{ N}$.

Wie schnell wird dadurch der Ball?



© Shutterstock/Maksim Toome

Abb. 17: Um ein Auto zu beschleunigen, muss an ihm eine Kraft angreifen.

I/B

I/B

M 8 Teste dein Wissen!

Aufgaben

1. Was zeigt eine gewöhnliche Badezimmerwaage an, wenn sie auf dem Mond mit einem Körper der Masse $m = 100 \text{ kg}$ belastet wird?
2. Die Lehrerin in Abb. 18 zieht die Tischdecke unter dem Geschirr weg.
Warum ist das möglich?
3.
 - a) Ein Schiff legt in 45 Minuten eine Strecke von 3,0 km zurück. Wie groß ist seine Geschwindigkeit? Gib das Ergebnis in m/s und km/h an.
 - b) Wie weit fährt es in 12 Stunden?



Foto A. Donges

Abb. 18: Die Lehrerin zieht die Tischdecke unter dem Teller samt Glas weg.

4. Ein Auto fährt mit einer Geschwindigkeit von 25 m/s. Es wird für 5 Sekunden mit $a = 2 \text{ m/s}^2$ beschleunigt. Wie schnell ist es dann?
5. Auf ein Auto (Masse $m = 1500 \text{ kg}$) wirkt für 10 s eine Kraft von 300 N. Um wie viel erhöht sich die Geschwindigkeit?

6. Bei einem Auffahrunfall (Abb. 19) wird ein Auto innerhalb einer halben Sekunde von 50 km/h zum Stillstand abgebremst. Berechne die Beschleunigung.

Welche Kraft ist für diese Beschleunigung notwendig, wenn die Masse des Autos 1200 kg beträgt?

7. Den Mäppchen fällt vom Tisch.
Wie groß ist die Beschleunigung beim Fall?



© Shutterstock/Robert Crum

Abb. 19: Auffahrunfall

8. Ein Auto (Masse 1400 kg) fährt bergauf. Der Motor erzeugt eine nach vorne gerichtete Kraft von 2,0 kN. Die rückwärtsgerichtete Hangabtriebskraft beträgt 1,2 kN.

Bestimme die Beschleunigung a .

Um wie viel nimmt die Geschwindigkeit in 4 s zu?

9.
 - a) Welche Kraft ist notwendig, um ein 30 m/s schnelles Auto (Masse $m = 1600 \text{ kg}$) innerhalb von 15 Sekunden zum Stillstand abzubremsen?
 - b) Wie groß wäre die Anhaltezeit, wenn bei gleicher Kraft das Auto die doppelte Masse hätte (d. h. doppelt so träge wäre)?
10.
 - a) Wie lautet das Trägheitsgesetz?
 - b) Wie lautet das dynamische Grundgesetz?
11. Welche Einheiten haben die Größen Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft?

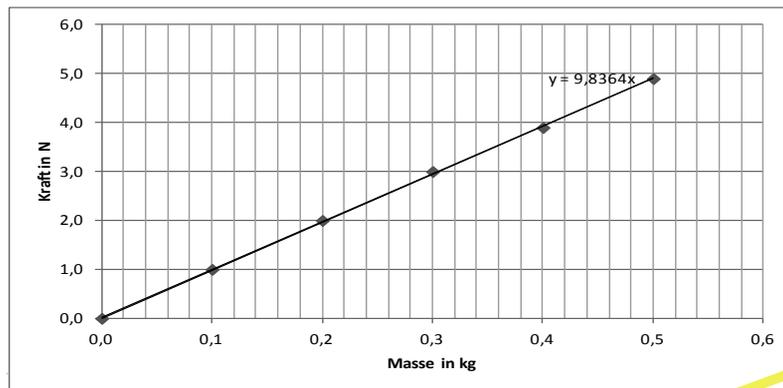
Erläuterungen und Lösungen

M 1 Die schwere Masse

1.

m [in kg]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
F [in N]	0,0	1,0	2,0	3,0	3,9	4,9

2.



3.

Steigung: $g = \frac{4,9 \text{ N}}{0,5 \text{ kg}} = 9,8 \text{ N/kg}$; $F = g \cdot m$ mit $g = 9,8 \text{ N/kg}$; $\left[\frac{\text{N}}{\text{kg}} \right] = \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$

M 2 Die Gewichtskraft

1. Auf der Erde:

$$F = m \cdot g = 1500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 14,715 \text{ kN.}$$

Auf dem Mond:

$$F = m \cdot g = 1500 \text{ kg} \cdot 1,62 \text{ N/kg} = 2,430 \text{ kN.}$$

2. Da die Waage die Gewichtskraft anzeigt, zeigt sie auf dem Mond fälschlicherweise $85,5 \text{ kg} / 6 = 14,25 \text{ kg}$ an.

3. Venus: 8,9 N/kg; Jupiter: 23,1 N/kg; Mars: 3,7 N/kg

(vgl. <http://www.forphys.de/Website/student/gewichtsmasse.html>)

M 4 Freihand-Experimente zur Trägheit

Schülerversuch 1

- Klopapierrolle rollt sich bei langsamem Ziehen ab.
- Papier reißt bei ruckartigem Ziehen (wegen der Trägheit).

Schülerversuch 2

- Bei langsamem Ziehen reißt der obere Faden, da er zusätzlich das Gewicht des Körpers trägt.
- Bei ruckartigem Ziehen reißt der untere Faden. Wegen der Trägheit wird der obere Faden durch die Zugkraft nicht gespannt. Die Zugkraft spannt aber den unteren Faden und lässt ihn reißen.

I/B